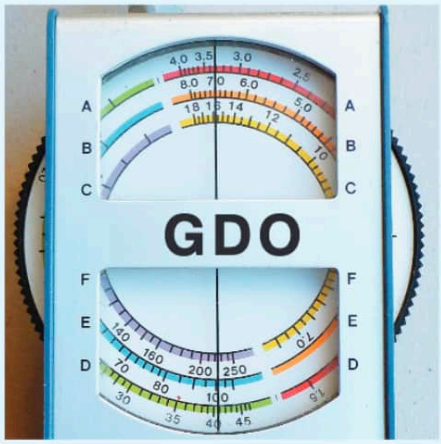
RÁDIÓ— TECHNIKA ÉVKÖNYVE 2022

www.ret.hu
ret elektronika
Telefon: (62) 554-600

anico
www.anico.hu
www.radioamatorwebshop.eu
STANDARD HORIZON YAESU Vertex Standard

INCOMP Electronics
Alkatrész kis- és nagykereskedelem
EXPORT - IMPORT
2120 Dunakeszi, Fő út 35. ☎ (27) 342-407
www.incomp.hu

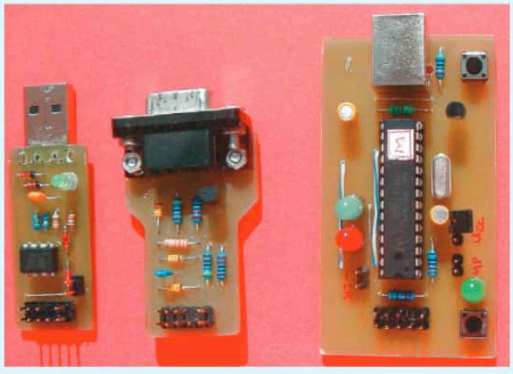
Kontel Kft.
Elektronikai Alkatrész Nagykereskedés
Ellenállások, diódák, IC-k, kondenzátorok, akkumulátorok, önök, csatlakozók, LED-ek, stb. nagy választékban.
1043 Budapest, Munkásotthon u. 33-39
Telefon:+36 1370-3709, Fax:+36 1 370 3709
E-mail: info@kontel.hu, kontel@t-online.hu
Webáruház: www. kontel.hu



GLADIO

TKI

BAY ZOLTÁN
1900-1992



R&S®NGP800 SOROZATÚ TÁPEGYSÉGEK

Rugalmasság – határok nélkül

ROHDE&SCHWARZ

Make ideas real

A RÁDIÓTECHNIKA ÉVKÖNYVE 2022

Szerkesztette:

Békei Ferenc főszerkesztő
okl. vill. üzemmérnök, HA5KU

Írták:

Balás B. Dénes technikus, HA8BDE

Békei Ferenc okl. vill. üzemmérnök, HA5KU

Bus László okl. villamosmérnök

Cseley Alpár okl. olajmérnök, HA8KT

Csiszár János okl. villamosmérnök

Irházi Sándor okl. villamosmérnök, HA5LR

Herpy Miklós okl. villamosmérnök

Hriczó István tanár, HA6ZX

König Imre villamosmérnök

dr. Kövesdi István okl. fizikus

Lambert Miklós okl. villamosmérnök

Lendvai Klára, HA5BA

dr. Madarász László okl. villamosmérnök

Nagymáté Csaba villamosmérnök

Pálinkás Tibor gépészmérnök

dr. Simoncsics László okl. villamosmérnök

dr. Tolnai János okl. hír.techn.-i szakmérnök, HA5LQ

Tartalomjegyzék

Előszó 3

Távközlési Kutató Intézet, a magyar mikrohullámú kutatás fellegvára (1950 – 1990) 4

A magyar Hold-radar kísérlet 14

Közelségi gyújtók a II. világháborúban 22

R&S® NGA100 sorozatú tápegységek 32

Gladio – a rejtett hadsereg 34

LED-ek, nem okvetlenül világítási célokra 44

Szubjektív szakmai életrajztöredékek – (L. M.) 65

Kivezérlésmérők – tegnap és ma 68

Digitális monitor analóg spektrumanalizátorhoz 82

Összeállítás a rádiózás kezdeteinek történetéről és műszaki megoldásairól 90

Ívfényadók 99

Technikatörténet – évszámokban 107

AVR mikrokontrollerek 118

Néhány kicsi mikrovezérlős kapcsolás 133

A kvarcoszcillátoroktól a MEMS rezgéskeltőkig 141

Hőfokfüggetlen kvarcoszcillátorok!? 155

Villogó kapcsolások – ami még kimaradt 166

GDO, újratöltve 181

Cq de HA... Cq de HG... 2021 206

Sok kis kapcsolás 208

Hirdetések 216

© **A könyvvel kapcsolatos minden jog fenntartva!**

A könyvben szereplő cikkek, ábrák, illusztrációk, ill. azok részei szerzői jogi védelem alatt állnak. Azokat részben, vagy egészben, bármilyen módon reprudukálni, adatrögzítő rendszerekben rögzíteni és/vagy tárolni, nyilvánosságra hozni (az iskolai oktatásban történő fehasználás kivételével) a kiadó egyértelmű engedélye nélkül tilos!

Kiadja:

a Rádióvilág Kft.

A kiadásért felel: Békei Ferenc ügyvezető igazgató

Tördelés és nyomdai előkészítés:
Bohner Ferenc

Nyomás: AduPrint Kft., Budapest, 2021 www.aduprint.hu
Felelős vezető: Tóth Zoltán ügyvezető igazgató

HU–ISSN 0557–6229

Előszó

A „Rádiótechnika” folyóirat könyveinek LV. kötetét nyújtjuk át kedves Olvasóinknak. Évkönyvünk indító cikkét a hazai híradástechnikai ipar egykori neves cégéről, a Távközlési Kutató Intézetről – a kiváló szakkönyvíró –, *Herpy Miklós* tollából hozzuk. Ezen kötetünkben újra jelentkezik régi szerzőnk, *dr. Kövesdi István* okl. fizikus. A II. világháború fejlesztéseinek sikertermékéről, a közelségi gyújtókról ír. Végül, amivel a szakmatörténeti cikkek áttekintését illett volna indítanunk, az a Bay Zoltán-féle magyar Hold-radar kísérlet háromnegyed évszázados jubileumára emlékező írásunk, *Irházi Sándor* (HA5LR) okl. villamosmérnök úrtól.

A legújabb Évkönyvünk digitális rovatában az Atmel által fejlesztett AVR mikrokontrollerekről közöl bevezető szintű elméleti-gyakorlati írást *Hriczó István* (HA6ZX) tanár úr. Cikke újdonság jellegű, lévén a lapban eleddig nemigen foglalkoztunk az AVR-ekkel. *Lambert Miklós* okl. villamosmérnök hiánypótló közléssel zárja nagysikerű LED-es sorozatát, majd szubjektív szakmai életrajztöredékeit osztja meg az olvasóval.

Rádióamatőr rovatunkban a „GDO, újratöltve” c. írásában *Nagymáté Csaba* villamosmérnök úr az egyik legsokoldalúbb és legegyszerűbb műszerről ad elméleti és gyakorlati összefoglalót. Áramkörök és az elvégezhető mérések technikája, bőséggel olvasható a nem kifejezetten csak rádió-adóamatőrök érdeklődésére számot tartó írásban.

Kedves Olvasóink! A Rádiótechnika legújabb Évkönyvének széles témaválasztékához kellemesen hasznos lapozgatást kíván a

Szerkesztőség

Figyelem! – Kedves Olvasók! – Fontos változás!

A **2022/1. számtól** új lapgazda és -kiadó, a **Press4world Media Kft.** gondozza a RÁDIÓTECHNIKA lapot. Bankszámlaszám: **10103881 – 79574300 – 01005003**
E- mail: elofizetes@radiotechnika.hu Honlap: **radiotechnika.hu**

RÁDIÓTECHNIKA

»Megújuló Rádiótechnika« előfizetői akció 2022-re!

Köszönjük, hogy 2021-ben lapunk előfizetője volt. Bízunk benne, hogy jövőre is Olvasóink között köszönthetjük, és a megújuló Rádiótechnika biztosan el fogja nyerni tetszését. Ha még nem jár Önnek a lap, most itt a kihagyhatatlan alkalom, hogy előfizetőnk legyen!

A **2022-re** szóló ***»Megújuló Rádiótechnika«*** akciónkban 2-féle előfizetői kedvezmény közül választhat. Ön dönt, melyik lehetőséggel él!

1. lehetőség: RÁDIÓTECHNIKA éves előfizetési díj **19.800 Ft** (12 x 1650 Ft), és 3990 Ft + postaköltségért küldünk majd Önnek 1 db 2023-as RT évkönyvet 2022 novemberében.

2. lehetőség: RÁDIÓTECHNIKA éves előfizetési díj **18.150 Ft** (11 x 1650 Ft) a normál 19.800 Ft helyett, azaz **1 db lapot** ajándékba adunk.

Ne feledje, a fenti ajánlat csak 2021 november – december hónapjaiban beérkezett előfizetési igények és díjak esetén érvényes! – **A lap utcai árus ára: 1950 Ft.**

- **Csekkes fizetés esetén:** az elofizetes@radiotechnika.hu e-mail címen jelezze csekk-igényét név és címadatainak megadásával!
- **Banki átutalás esetén** az utalási adatokat a radiotechnika.hu weblapon találja! A közleményben, kérjük, jelezze: **RT előfiz. 2022**

radiotechnika.hu elofizetes@radiotechnika.hu kiadó: **Press4world Media Kft.**

Távközlési Kutató Intézet, a magyar mikrohullámú kutatás fellegvára (1950 – 1990)

Herpy Miklós, villamosmérnök

A Távközlési Kutató Intézetet (TKI) 1949. december 30-án alapították annak érdekében, hogy a hazai távközlési ipar számára kutatási és gyártmányfejlesztési hátteret biztosítsanak. Feladata az információközlő rendszerek és berendezések kutatása, valamint fejlesztési és kísérleti mintaberendezések kidolgozása volt. Az Intézet a magyar távközlési hálózatok súlyos hiánya okozta sürgető igényektől serkentve rövid időn belül a műszaki kutatás és fejlesztés egyik hazai alapintézményévé és az ország egyik legnagyobb és legjelentősebb kutatóintézetévé vált. Bár az Intézet számos szakterületen járult hozzá a hazai technikai fejlődéshez, fő profilja mégis mindvégig a mikrohullámú rendszerek és berendezések kutatás-fejlesztése és a polgári, valamint a katonai célú berendezések gyártásba vitelének támogatása volt. A rendszerváltás éveit az Intézet – mint annyi más állami tulajdonú intézmény – nem élte túl. Vagyontárgyait széthordták és az a hatalmas tudásvagyon, amit a sok kiváló elme közössége jelentett, megsemmisült.

1. Az alapítás és a kezdeti évek

A Távközlési Kutató Intézet az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt. kutatólaboratóriuma bázisán jött létre. Ezt a laboratóriumot 1948-ban bekövetkezett kényszerű emigrálásáig az Rt. vezérigazgatója, *Bay Zoltán*, majd őt követően *Szigeti György* fizikus vezette. Mindketten a MTA rendes tagjai voltak és laboratóriumukban olyan kiváló mérnökök dolgoztak, mint *Millner Tivadar*, *Simonyi Károly*, *Barta István*, *Istvánffy Edvin* és *Budincsevics Andor*. Mindnyájan részt vettek az 1946-ban Bay Zoltán által vezetett sikeres Holdradar-kísérletben. A Kormányzat bennük és a Posta Kísérleti Állomáson dolgozó, ekkor már Kossuth díjas *Bognár Géza* által vezetett, átviteltechnikai kutatásokkal foglakozó csapatban látta azt az erőt, amely képes létrehozni a kutató-fejlesztőbázisukat államosításuk miatt elvesztett, többnyire külföldi tőkeérdekeltségű híradástechnikai vállalatokból (Magyar Philips Művek, Telefongyár Rt, Standard Villamossági Gyár, stb.) létrejött katonai és polgári távközlési ipar kutató-fejlesztő háttérbázisát.

A kutatómunka a katonai célú radarberendezések és más elektronikai harcászati eszközök, valamint távbeszélő, televízió- és adatjelek nagy távolságú átvitelét szolgáló mikrohullámú rendszerek, telefonberendezések, műszerek, rendszerelemek és alkatrészek kidolgozásával indult meg. A feladatok megoldásához egy jól felkészült, elegendően nagy létszámú mérnökgárdára volt szükség. Ezért ide helyezték át a Standard (a későbbi BHG) és a Telefongyár legjobb szakembereit is, majd megindult az új munkatársak toborzása elsősorban a Budapesti Műszaki Egyetemen végzett fiatal mérnökök körében és egyetemi oktatók részmunkaidőben való alkalmazásával.

Ebben az időben, az ország elzártsága miatt mindent az Intézeten belül kellett megoldani. Így az alapkutatás és fejlesztés mellett ki kellett dolgozni a berendezésekhez szükséges rádiócsöveket, ferrit eszközöket, műszereket és új technológiákat is. A tudományos feladatok megoldásához jelentős elméleti felkészültségre volt szükség, tehát tanulni kellett. A tanári feladatokat elsősorban a két világháború között nyugati egyetemeken végzett és ottani vállalatoknál jelentős tapasztalatokat szerzett generáció nagy tudású képviselői, mint Budincsevics Andor, *Hoffmann Tibor*, *Korodi Albert*, Szigeti György látták el. Munkájukhoz jelentős segítséget nyújtott az Intézet gazdag könyvtára. A tudás vonzotta a feladatokat és az évek során a kutató-fejlesztő munka egyre sokoldalúbbá és az Intézet az ország legjelentősebb távközlés-technikai szellemi bázisává vált. A mikrohullámú technikán kívül a TKI feladata volt az analóg (FDM) és digitális (PCM) multiplex berendezések és elektronikus telefonközpontok kutatása és kidolgozása. A TKI az első elérhető számítógépek megjelenése után a hazai infokommunikáció egyik bölcsője és a számítástechnikai kutatás és az alkalmazásfejlesztés jelentős bázis lett [1], amely pl. az első magyar, iparban is hasznosított számítógépes elektronikai tervezőrendszer, az AUTER megalkotójaként vált ismerté.

2. Mikrohullámú rendszerek és berendezések

Bár az alapítást követő első évek egyik legfontosabb feladata a radarberendezések kutatás-fejlesztése volt, mégis az 1956-os forradalom utáni Kádár-kormányzat, amely nem bízott meg a Magyar Honvédség akkori állományában, leállított minden katonai fejlesztést. Ez lehetővé tette, hogy a radarfejlesztések során iskolázott mérnökcsapat minden erejét a mikrohullámú rádiórelé-vonalak berendezéseinek fejlesztésére fordíthassa. A Magyar Televízió első kísérleti adása már 1954 januárjában megindult és 1957. február 23-tól a Szabadsághegy 50…90 kilométeres körzetében már fogni lehetett az 1 kW-os tévéadó műsorát. Sürgősen szükség lett tehát olyan kommunikációs átviteli csatornákra (láncokra), melyek képesek a műsorokat az ország távolabbi vidékeire is eljuttatni, illetve elérhetővé teszik a külföldi stúdiók műsorait. E célra a hegytetőkre, látótávolságban épített vég-, ismétlő- és főállomások sorából álló mikrohullámú láncok voltak a legalkalmasabbak. Ezek háromféle változatára volt szükség:

- többcsatornás, szélessávú mikrohullámú láncokra, melyek alkalmasak tévékép kísérőhanggal és/vagy nagyszá-

1. ábra

2. ábra

mú távbeszélő csatorna nagy távolságú átvitelére. Erre szolgáltak a gerinchálózati berendezések [2],

• az országos lefedettség biztosításához szükséges körzeti láncokra, melyek kisebb kapacitású és hatótávolságú berendezésekből épülnek fel. Egyedi átviteli feladatok, mint helyközi-, üzleti- és magánhálózatok céljára többnyire kiskapacitású, esetenként mobil berendezések szolgálnak.

2.1. Az első kísérleti berendezések

Az első mikrohullámú rádiórelé-berendezés terveit *Bognár Géza* hozta magával a Posta Kísérleti Állomásról, amikor áthelyezték az alakuló TKI-ba. Ezek alapján egy 2 GHz-es 10 csatornás berendezés mintáját készítették el, melyből kiindulva a Beloiannisz Híradástechnikai Gyárban, (a BHG-ban) fejlesztették ki és gyártották az első, 24 FDM beszédcsatorna átvitelére szolgáló berendezést.

Ezt követően az Intézet, együttműködve a BHG-val, megkezdte egy több televíziós műsor és sok száz telefonbeszélgetés egyidejű, nagy távolságú átvitelére szolgáló gerinchálózati rendszer kidolgozását. Erre elsősorban a tévéadások műsorainak belföldi és külföldi továbbítása és a távolsági távbeszélő összeköttetések létrehozása miatt volt sürgősen szükség. Az első kísérleti berendezéssel, amely frekvenciamodulált, néhány milliwatt teljesítményű mikrohullámú adót és 70 MHz-es középfrekvenciás erősítőket alkalmazott, az Intézet rózsadombi épülete és a Magyar Posta Kékestetőn lévő reléállomása között 1957-ben létesítettek kísérleti összeköttetést. Ezen végezték a rendszer átviteli tulajdonságait tisztázó méréseket. Az **1. ábrán** a hajdani kékestetői torony, a **2. ábrán** a később felépült emődi ismétlőállomás látható.

A berendezések felépítéséhez szükséges speciális alkatrészek (pl. ferrit- és félvezetőeszközök) kutatás-fejlesztési munkái a berendezés-fejlesztéssel párhuzamosan folytak az Intézetben, míg a mikrohullámok előállítására és erősítésére alkalmas elektroncsöveket: klisztronokat és haladóhullámú csöveket [3] az Intézet újpesti laboratóriumában fejlesztették. A gyártáshoz és az üzemeltetéshez szükséges mikrohullámú és egyéb speciális műszerek kidolgozása és gyártása az *Almássy György* [4] által vezetett szervezet feladata volt.

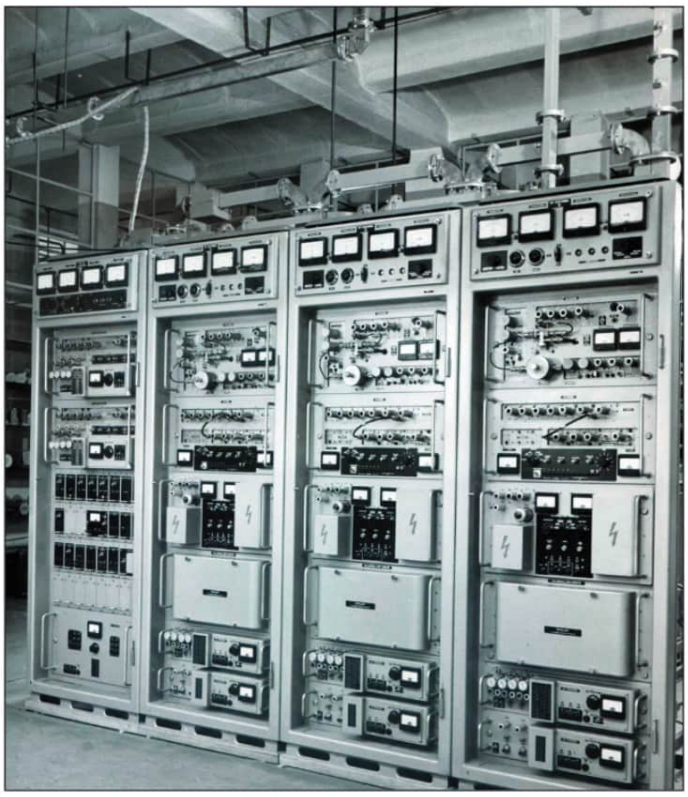
2.2. A 4 GHz-es berendezések – FMV gyártmányok

A Budapest–Kékes vonal vizsgálati tapasztalatai alapján a TKI további, de még mindig csak ideiglenes, 1 W adóteljesítményű, klisztron adóval működő, 4 GHz-es KTT-4000 típusjelű berendezéseket gyártott, melyek már jól megfeleltek fekete-fehér tévékép és egy kísérőhang átvitelére és alkalmasak voltak a legsürgősebb feladatot jelentő Gerecse-Budapest képátviteli út kiépítéséhez. A Posta Rádióműszaki Hivatal megrendelésére 1958 végére készültek el a vonal állomásépületei és befejezték a berendezések felszerelését.

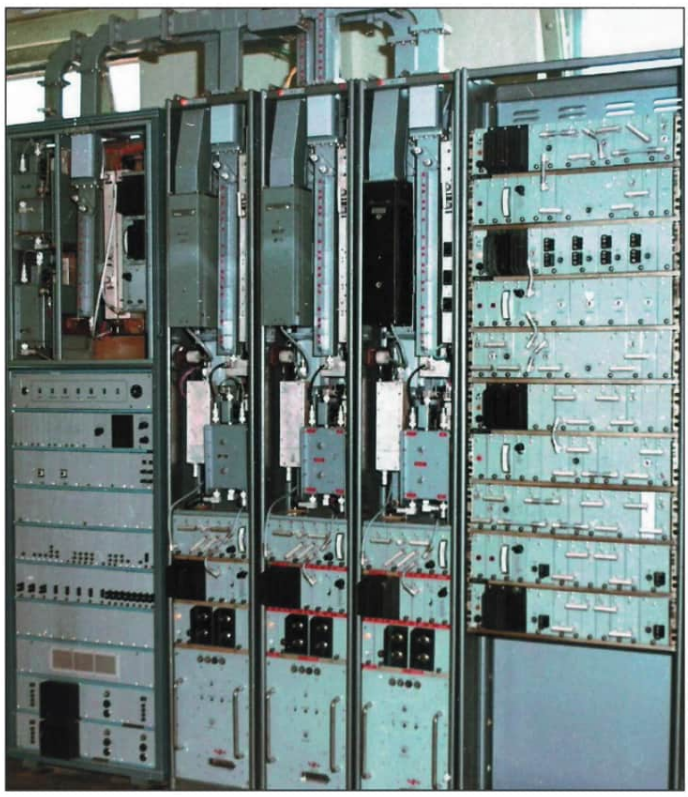
Az üzemi próbákat 1959 elejére befejezték, így még az első negyedévben lehetővé vált a rendszeres külföldi műsorközvetítés Pozsony, Prága, Lipcse és Berlin stúdióiból, valamint az Eurovízió műsorainak elérése. A közvetítés módja igencsak bonyolult volt, mert a Gerecse-csúcson tévékészülékkel vett adás alapsávi jeleit továbbították a TKI, csak egy irányban működő (de irányváltható) mikrohullámú berendezésével a Széchenyi hegyre.

Ennek az első, tisztán elektroncsöves mikrohullámú rádiórelé-berendezésnek tényleges postai üzemeltetése a tapasztalatszerzés nagy iskolája volt. Az itt tanultak tették lehetővé, hogy 1962 telén a Budapest–Gödöllő–Kékes–Emőd–Tokaj–Kisvárda keleti láncon üzembe helyezhessék a még mindig ideiglenes, és csak fekete-fehér tévékép és egy hangcsatorna átvitelre alkalmas, de már a BHG-ből kivált új vállalat, az FMV [5], által gyártott 4 GHz-es, GTT-4000/A típusjelű berendezéseket.

A következő évben a TKI dokumentációi alapján az FMV megkezdte a GTT-4000/600 típusjelű, új gerinchálózati berendezés gyártását is [6]. Ez alapkiépítésében 2 üzemi és 1 tartalék szélessávú duplex rádiócsatornát tartalmazott, de az üzemi csatornák számát 5-ig lehetett bővíteni. Bármelyik rádiócsatorna fekete-fehér tévékép és annak kísérőhangja, vagy 600 FDM telefoncsatorna átvitelére volt képes. A GTT-4000/600 alkalmas volt végállomás és ún. főállomási üzemre, ahol a rendszerhez tartozó modulátorokkal lehetett az alapsávi jelet előbb a frekvenciamodulált 70 MHz-es középfrekvenciára, majd az adókeverőkkel a mikrohullámú vivőkre transzponálni, valamint a mikrohullámú vivőkről előbb középfrekvenciára, majd a demodulátorokkal az alapsávra letranszponálni. Hosszabb vonalak esetén a közbenső, felügyelő személyzet nélküli ún. ismétlőállomásokon a csatornák jeleit a vevőktől 70 MHz-es középfrekvencián adták tovább az adott irányhoz tartozó adókhoz. A kezelőszemélyzettel rendelkező vég- és főállomások között több ismétlőállomás is működhetett, melyekkel együtt az állomások egy önállóan kezelhető szakaszt képeztek. E szakaszok saját csatornatartalékolással és távfelügyelettel rendelkeztek. Az adó-vevő berendezések még elektroncsövekkel készültek, de a szolgálati csatornák alapsávjában a távfelügyelet és a tartalékolás berendezéseiben már tranzisztoros áramköröket alkalmaztak. A szélessávú adók magyar gyártmányú, 5 W adóteljesítményű haladóhullámú csővel működtek [7], a vevők zajtényе-



3. ábra



4. ábra

zője 14 dB volt. Az első GTT-4000/600 berendezést a **3. ábrán** láthatjuk. Ez a rendszer két üzemi és egy tartalék szélessávú RF csatorna (ún. 2+1 kiépítésű), 600 távbeszélő csatorna vagy egy fekete-fehér televíziós csatorna (kép + kísérő hang) átvitelére szolgáló, egy irányhoz tartozó duplex berendezés. A bal oldali keretben levő keskenysávú adó-vevő a szolgálati berendezések jeleit továbbította.

Bár ezzel a berendezéssel az akkori technikai lehetőségeknek megfelelő legkorszerűbb gerinchálózati rendszer született, az adáshoz és vételhez használt közös antenna okozta zajproblémák miatt az üzembe helyezés elhúzódott. A tápvonalrendszert a két jelút szétválasztása érdekében jelentősen át kellett alakítani. Az új berendezéseket végül is 1964-ben kezdték felszerelni a keleti láncon üzemelő GTT-4000/A berendezések mellé, ahonnan azok beüzemelése után a korábbi berendezéseket leszerelték és felhasználták az ideiglenes Budapest–Seregélyes–Úzd–Pécs lánchoz [8].

Az üzembe helyezés késlekedése lehetővé tette az új gerinchálózati berendezés folyamatos továbbfejlesztését, így abból az FMV sikeres gyártmánya lett, amit számos magyarországi vonalon alkalmaztak. Például 1968-ban GTT-4000/600 típusú berendezésekkel szerelték fel a keleti láncról leágazó Emőd–Újszentmargitta–Debrecen–Nagyvárad, valamint a Budapest–Cegléd–Martfű–Szentes–Békéscsaba–Komádi láncokat. Emellett jelentős mennyiségű berendezést szállítottak a környező országokba (2267 RF csatornakilométert) és a Szovjetunióba (30 399 RF csatornakilométert).

2.3. A 6 GHz-es Druzsba berendezések – FMV gyártmányok

A Szovjetunió, Postaügyi Minisztériumának Rádiókutató Intézete (NIIR) és a TKI között, még 1958 végén tudományos együttműködési megállapodás jött létre. Ennek az együttműködésnek első feladata a NIIR fejlesztésű R-600 és a TKI fejlesztésű GTT-4000/600 berendezések adatainak egyeztetése volt. A NIIR és a TKI 1964-ben állapodott meg arról, hogy közös munkával létrehoznak egy speciális, 6 GHz-es rádiórelé rendszert, amely 12 500 km hosszú lánc esetében is képes 8 mikrohullámú, szélessávú duplex rádiócsatornán színes televíziókép és négy zenecsatorna, avagy 1920 távbeszélő csatorna kiváló minőségű átvitelére. A mikrohullámú és modem berendezéseket a TKI, a szolgálati távbeszélő, távjelző, távkezelő és csatornatartalékoló berendezéseket a NIIR fejlesztette. Ez a GTT-6000/1920 típusjelű ún. Druzsba berendezés, a haladóhullámú csőtől eltekintve, csak félvezetőket tartalmazott, tehát már ún. második generációs berendezés volt [9].

Bár a TKI fejlesztésű adó-vevők és modemek gyártására az FMV már 1968-ra felkészült, a NIIR által fejlesztett berendezésrészek honosítása elhúzódott, amiért az első kísérleti vonalat csak 1973-ben lehetett a kaukázusi Nalcsik és Mahacskala közötti vonalon üzembe helyezni. A kísérleti vonal sikeres átadását követően a Szovjet Posta rendelésére az FMV szakemberei nagyszámú, összesen 19 830 RF csatornakilométer hosszúságú GTT-6000/1920 típusú láncokat telepítettek az Szovjetunió különböző területein [10].

2.4. A GTT–70 berendezéscsalád – FMV gyártmányok

Már a speciális szovjet előírásoknak megfelelő Druzsba berendezés fejlesztése során felvetődött annak igénye, hogy a TKI, az FMV-vel együttműködve dolgozzon ki egy olyan 4 és 6 GHz-es sávban működő berendezéscsaládot, melynek tagjai mind a KGST mind a CCITT szabványoknak megfelelően teljesítik a 2500 km-es referenciahálózatra vonatkozó nemzetközi előírásokat. E munka során 1972 és 1976 között, egymás után, sorra készültek el, a GTT-4000/960, GTT-6000/960, GTT-4000/1800, GTT- 6000/1800, típusjelű berendezések [11]. Ezek az egységesített mechanikai konstrukciójú, második generációs, berendezések a mikrohullámú haladóhullámú csövek

5. ábra

kivételével csak félvezető eszközöket alkalmaztak. Az új berendezéscsalád a GTT-70 nevet kapta. A 4 GHz-es szélessávú berendezéseket (**4. ábra**) 15 W teljesítményű adóval, a 6 GHz-eseket (**5. ábra**), pedig 10 W-os adóval szerelték. Utóbbi kép a moszkvai Szvjáz '75 Világkiállításra szánt rendszer bemutatásáról készült a TKI Rendszertechnikai osztályán. A rendszert szakasztartalékolásra tervezték és felügyelő személyzet nélküli üzemet is lehetővé tevő távfelügyelő és szolgálati távbeszélő rendszerrel látták el. A segédberendezések jeleit az FDM multiplex jeleit átvivő RF csatorna alapsávjában továbbították.

A GTT-70 berendezéscsalád első 4 GHz-es, 1800 FDM távbeszélő csatorna vagy színestévé-kép és négy kísérőhang átvitelére alkalmas berendezéseivel a Budapest–Cegléd–Martfű–Szentes vonalon 1975-ben építettek ki egy referencialáncot. Ezt követően a keleti lánc Budapest–Emőd irányát 4 üzemi plusz 1 tartalék csatornára, valamint annak Emőd–Budapest irányát 3 üzemi plusz 1 tartalék csatornára bővítették [12]. A **6. ábra** a termékcsalád FMV-ben sorozatgyártással készülő, 1+1 kiépítésű főállomását mutatja, amely 6 GHz-en 1800 távbeszélő csatorna vagy egy színestévé-csatorna (kép + 4 kísérőhang)

6. ábra

átvitelére volt alkalmas. Mindkét irányhoz egy-egy, 1+1 üzemű RF csatorna tartozik. Az ezeket alkotó négy szélessávú adó-vevő kereteit a bal oldalon helyezték el. (Az adók szűrőváltói a képen még hiányoznak.) A további keretek a GTT-70 családhoz kifejlesztett modemeket és szolgálati berendezéseket tartalmazzák. A **7. ábrán** egy 6 GHz-es végállomás látható, a moszkvai kiállításra felkészítve.

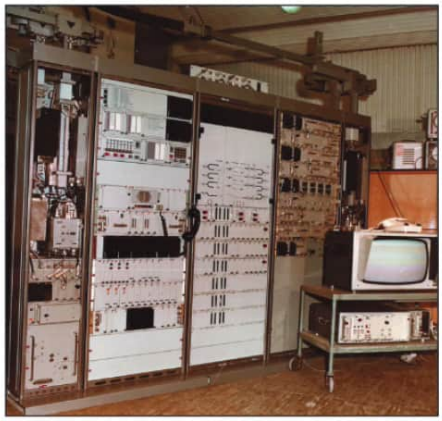
Az 1978 és 1979-es években a GTT-70 család 6 GHz-es berendezéseivel építették fel az 1980-as moszkvai Olimpiai láncot is, amely Moszkva–Tokarnia–Kassa–Ungvár–Kisvárda–Budapest vonalon juttatta el a magyar műsorszórás számára továbbított képet. Az Eurovízió programjait a Taliándörögdi Űrtávközlési állomás fogadta, majd földi mikrohullámú vonalon továbbították Nyugat-Európa felé.

A GTT-70-es család berendezéseit a TKI és az FMV folyamatosan tökéletesítette. Ennek köszönhető, hogy a Magyar Posta sok éven keresztül ezzel a típussal bővítette a meglevő és építette az új mikrohullámú vonalait. De az is figyelemre méltó, hogy az Indiai Posta 1976-tól kezdve közel 50 állomásnyi (17 667 RF csatornakilométer) berendezést vásárolt és telepíttetett a szigorú klímakövetelményeket is teljesítő GTT-70 berendezésekből, melyek gyártási jogát is megvásárolta a bangalorei Indian Telephone Industries vállalat [13].

2.5. A KTT–70 berendezéscsalád – ORION gyártmányok

A szélessávú gerinchálózatok kiépítése után szükségessé váltak a leágazó szárnyvonalakra telepíthető körzeti mikrohullámú berendezések. Ezek fejlesztését TKI az Orion gyárral együttműködve 1970-ben kezdte meg. Céljuk egy a 8 GHz-es frekvenciasávban működő olyan berendezéscsalád kidolgozása volt, melynek tagjai számos szolgáltatási igény kielégítésére alkalmasak. Ekkorára már a TKI rendelkezésére állt az egységesített mechanikai konstrukció és a második generációs technológia teljes eszköztára. Az így megszülető új berendezések már csak félvezetőket alkalmaztak. Maga az adó is félvezetőkkel állította elő a kisugárzott 200 mW-os teljesítményt. A KTT-70 néven megszületett berendezéseket többféle konfigurációban gyártották [14]:

• A KTF 8000/300 jelű, 8 GHz-es sávban működő analóg berendezés, amely a hozzákapcsolt frekvenciaosztású multiplex berendezéstől függően 60,



7. ábra

120 vagy 300 távbeszélő csatorna jeleit tudta – szabványos számú ismétlőállomások esetében, akár a referenciahálózat 2500 km-es távolságára – továbbítani. A jelátvitelhez frekvencia-diverzitit alkalmaztak. Ez azt jelentette, hogy az egyes ismétlőállomások között a jelet két párhuzamos, de eltérő adófrekvenciájú mikrohullámú csatornán továbbították, és mindig az alacsonyabb zajú csatorna jelét sugározták tovább a következő állomás felé. Ez egyben megoldotta a csatornatartalékolást is, hiszen az üzemiként működő csatorna meghibásodása esetén a másik, tartalékként is átvehette annak feladatát. Az Orion fejlesztésű szolgálati telefoncsatornák, valamint a távellenőrző és távkezelő berendezések jeleit a sokcsatornás alapsáv 12 kHz-es alsó határfrekvenciája alatt vitték át.

• A KTV 8000 jelű, 8 GHz-es berendezés színestelevízió-kép és maximum 4 kísérő zenecsatorna átvitelére volt alkalmas, maximálisan 800 km távolságra. Ugyanúgy 1+1 felépítésű volt, mint az előző rendszer. Minthogy a tévéspektrum alatt nem lehet a szolgálati jeleket továbbítani, e rendszerhez külön, kiskapacitású szolgálati rádiócsatornát kellett alkalmazni. E célra az Orion a DM 8000/6 típusjelű, keskenysávú, deltamodulált digitális rádiórelé-berendezését használta.

• A KTT 8000/300 jelű berendezésnek azt a kiépítést nevezték, amikor az előző két kiépítésű rendszert együtt, 2+2 elrendezésben, de közös antennarendszerrel alkalmazták. Ez esetben a 300 távbeszélő csatornát átvivő 1+1 felépítésű rendszer alapsávjában futottak a szolgálati berendezések jelei.

• GTT 8000/300 típusjellel került forgalomba a berendezéscsalád egy olyan változata, amely négy mikrohullámú csatornát tartalmazott, azok 3 üzemi és 1 tartalékcsatorna kiépítésében.

Az egyes csatornák KTF, vagy KTV csatornaként működhettek. A tartalékcsatornához, a szakasz mindkét végén egy-egy 70 MHz-es középfrekvencián átkapcsoló tartalékoló automatika csatlakozott, amely lehetővé tette, hogy a tartalékcsatorna, bármelyik üzemi csatorna feladatát átvegye. A tartalékolt szakasz két végállomásán levő tartalékoló berendezések szinkron működéséhez szükséges vezérlő jelek és a szolgálati berendezések jeleinek továbbításához ez esetben is külön kiskapacitású rádiócsatornára volt szükség.

A berendezéscsalád sorozatgyártását az Orion 1973-ban kezdte meg, és a keleti láncra telepítette az első szériát. Továbbiakban a Magyar Posta, valamint a Csehszlovák és a Szovjet Posta voltak a fő vásárlók. A Taliándörögdi Interszputnyik földi állomás kiszolgálásához az Orion továbbfejlesztette a berendezéscsaládot, mely így 960 FDM csatorna, vagy színestelevízió-kép és 4 kísérő zenecsatorna átvitelére vált alkalmassá, miközben teljesítette a CCITT, 2500 km-es referenciahálózatára vonatkozó előírásokat.

2.6. A GTT-80/KTT–80 berendezéscsalád – TKI és ORION gyártmányok

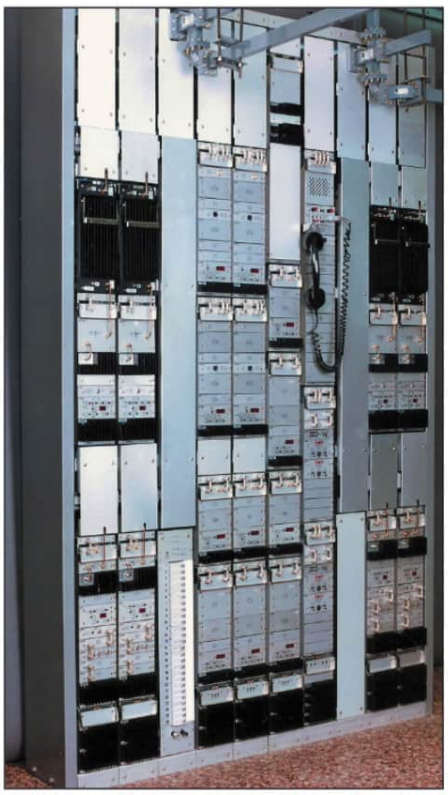
A mikrohullámú rádiórelé-rendszerek technológiai forradalma

A hetvenes évek elejére nyilvánvalóvá vált, hogy a csőtápvonalakból kialakított, nehézkes mikrohullámú áramkörök és haladóhullámú csövekkel felépített mikrohullámú erősítők korszaka lejárt. Elkerülhetetlenné vált a szalagtápvonalas (microstrip) technológia és a mikrohullámú frekvenciatartományban működő félvezető eszközök, valamint a digitális és analóg integrált áramkörök általános alkalmazása. Az iparvezetés, nem bízva a hazai kutatók és fejlesztők képességeiben, nyugati licenc megvásárlása mellett döntött. A Budavox Külkereskedelmi Vállalat vezérigazgatója, *Nyiredy László* vezetésével a három érdekelt intézmény, a TKI, az FMV és az Orion vezetői (*Váradi Imre, Jancsó István, Köteles Zoltán*) és azok néhány szakembere (*Herpy Miklós*, *Schmideg Iván, Somogyi András*) 1975 nyarán végiglátogatták az ajánlattevő vállalatokat: SEL – Stuttgart, AEG Telefunken – Ulm, Siemens – München; GTE – Milánó, Bell Telephone – Antwerpen, Thomson CSF – Párizs. Az egyes cégek jelenősen eltérő műszaki megoldásokkal tervezték megvalósítani a technológiaváltást, melyek megismerése rendkívül sok tanulsággal szolgált. A TKI és a két gyártó döntése alapján a Budavox az antwerpeni Bell Telephone cég licencére kötött szerződést. Mire azonban, majdnem 3 évvel később, 1978-ban megérkezett az amerikai hatóságok szerződést elutasító határozata a TKI kutatói – a licenc átvételére készülve – kidolgozták és meghonosították az Intézetben a szükséges modern technológiákat. A kerámia- és duroid-alapú szalagtápvonalas áramkörök tervezéséhez szükséges CAD programok kidolgozása és az azokkal tervezet áramkörök nagy pontosságú gyártása tette lehetővé, hogy a TKI laboratóriumában eddigre már működjön egy saját konstrukciójú harmadik generációs, 7 GHz-es, 960 TF csatorna átvitelére alkalmas harmadik generációs rádiórelé-berendezés fejlesztési mintája. Ebben a megbukott licencvásárlási kísérletnek csak annyi szerepe volt, hogy a megismert Bell berendezések felhívták a TKI fejlesztőinek figyelmét a PLL (fáziszárt hurok) technológia előnyeire. Ez a technológia tette lehetővé a digitálisan programozható, kis zajú lokálgenerátorok és az információt hordozó középfrekvenciás jellel modulált félvezetős mikrohullámú oszcillátort tartalmazó adók kifejlesztését. Ezek az áramköri megoldások kedvezően támogatták az egységes konstrukciójú, KTT–80 és GTT–80 jelű berendezéscsaládok megszületését. Az egységesítés kiterjedt a mechanikai (slim-rack) konstrukcióra, a moduláris felépítésre és az áramkörök jelentős részére [15].

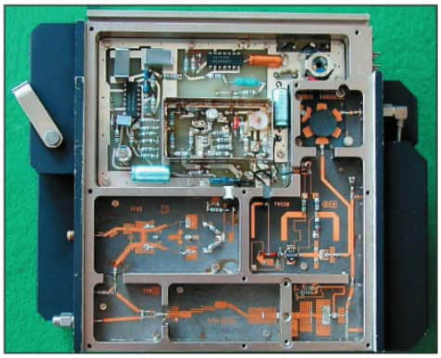
2.7. A GTT-80/KTT–80 berendezéscsalád – Kiépített hálózatok

A licencvásárlás elmaradása és az elkészült mintaberendezés sikere arra késztette a berendezésgyártókat, hogy a TKI kutatóira bízzák a teljes, harmadik generációs, tehát a 4, 6, 7 és 8 GHz-es rádiórelé-család berendezéseinek kidolgozását. TKI-ban úgy látták célszerűnek, hogy a sokévi fejlesztő munkát a már mintaszinten működő 7 GHz-es berendezés gyártási dokumentációjának elkészítésével kezdjék meg, majd annak 8 GHz-es változatával folytassák. E berendezésekhez viszont hozzá tartoztak a modemek, az alapsávi berendezések és a segédberendezések (Alapsávi- és KF-tartalékoló, Távjelző/Távkezelő és Szolgálati MPX berendezések). Így az adóvevők fejlesztésével párhuzamosan ezek kidolgozását és dokumentálását is el kellett végezni. Ezért a 4 és 6 GHz-es GTT–80 berendezések gyártási mintái és dokumentációi csak az 1980-as évek közepére készültek el [16]. Eddigre azonban a gazdasági társaságok átalakulásával kapcsolatos törvények oly mértékben átalakították a két berendezésgyártó vállalat, az Orion és az FMV üzletpolitikáját, hogy azok a kidolgozott harmadik generációs berendezéscsaládok gyártásba vételétől elálltak.

A Posta Rádió és TV Műszaki Igazgatóság vezetői viszont komolyan vették feladatukat, és mindent elkövettek, hogy az új, korszerű berendezésekkel a lehető leggyorsabban bővítsék az ország gerinchálózatait és körzeti vonalait. Így kerülhetett, sor az 1986-90-es években a Dél-Balatoni, a Kaposvári, a Dunántúli kerülő, a Győr-Taliándörögdi, és a Tiszántúli analóg telefon- és tévécsatornákat továbbító mikrohullámú rádiórelé hálózatok kiépítésére, ill. bővítésére. E hálózatok minden fő- és végállomásán a folyamatos működést a GTT-80/KTT-80 családhoz fejlesztett, TKI gyártású KF tartalékoló (MA-80), vagy alapsávi tartalékoló (AST 1+1) berendezésekkel biztosították. Emellett az összes állomásra a GTT-80/KTT-80 családhoz fejlesztett, TKI gyártotta, távjelző/távkezelő (TK-80) és szolgálati távbeszélő multiplex (SzMPX) berendezéseket telepítettek. Az új vonalak telepítésének és a meglevők bővítésének fővállalkozója a TKI volt. A **8. ábrán** a TKI fejlesztésű és gyártású, a Dél-Balatoni Hálózat Fonyód állomásra telepített KTT-80 család



8. ábra



9. ábra

7 GHz-es, 1+1 kiépítésű, 960 távbeszélő csatorna átvitelét szolgáló főállomás látható. Az összeállítás két szélén vannak a két irányhoz tartozó, párhuzamosan üzemelő adó-vevők és tápegységeik. A további oszlopokban a szűrőváltók, a TF adó- és vevő végberendezések, valamint a négy modulátor és demodulátor foglalnak helyet. A **9. ábra** a harmadik generációs, 7 GHz-es KTT-80 félvezetős adó-végerősítőjét mutatja.

A **10. ábrán** a GTT-80/KTT-80 készülékcsaládok berendezéseit alkalmazó magyarországi hálózatok térképét láthatjuk, amely *Sipőcz István*, a TKI fővállalkozás-vezetőjének munkája. A rádiórelé-rendszer általános felépítését a **11. ábra** szemlélteti.

2.8. Kiskapacitású helyközi és magánhálózatok berendezései

A harmadik generációs mikrohullámú berendezésekkel megszületett technológia és áramkörkészlet lehetővé tette olcsó és kisméretű, esetenként az antennával egybeépíthető, mikrohullámú digitális rádióberendezések létrehozását (**12. ábra**). Ezek rendkívül alkalmasak voltak szétszórtan elhelyezkedő postai előfizetők telefon- és adatforgalmának időosztásos, helyközi hálózatokban való alkalmazásra. E mellett fontos szerepük lett az 1980-as években, amikor a gazdasági átalakulások során született új intézmények, főként bankok és privatizált nagyvállalatok – nem bírván elviselni a telefon- és adatkapcsolatok hiányát, – magánhálózatokat kezdtek kiépíttetni intézményük és az elérhető országos hálózatok között (**13. ábra**).

3. Az űrtávközlés berendezései

A XX. század hatvanas éveiben úgy tűnt, hogy a geostacionárius pályákra állított távközlési műholdak, melyeket elsősorban az interkontinentális televízió-közvetítések létrehozására szántak, kiváló eszközei lehetnek a transzatlanti távbeszélő- és adatkapcsolatoknak is. Az Egyesült Államokbeli Intelsat nevű globális szervezet 1965-ben állította pályára első távközlési műholdját, melyet a következő évtizedben több tucatnyi követett, és a nyolcvanas évek elejére a földi állomások száma már meghaladta a kétszázat. A Szovjetunió és 14 szocialista, ill. szovjet érdekeltségű ország, követni akarván a világtrendet 1971-ben megalapította az Interszputnyik szervezetet, amely az Atlanti- és az Indiai-óceán zónáit lefedő geostacionárius szovjet műholdakon keresztül kívánt hasonló szolgáltatásokat biztosítani. Az Atlanti-óceáni zóna központi földi állomása Dubnában volt. Többek között innen érték el Magyarország, NDK, Iraki, Szíria, Kuba és Nicaragua földi állomásait. Az Indiai-óceáni zóna központi földi állomása Vladimir-ben volt, ahova Kína és Észak-Korea földi állomása is csatlakozott. A rendszer magyarországi földi állomását Taliándörögdön építették fel, majd annak átadása után, 1977-ben kezdték meg a működtető berendezések, köztük a 6 GHz-es mikrohullámú adó és a 4 GHz-es mikrohullámú vevő beszerelését.

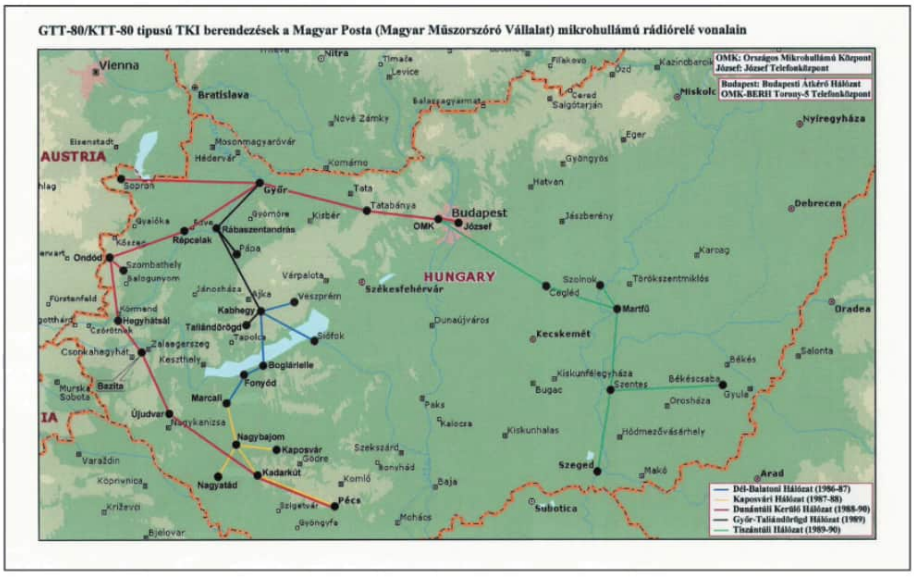
A műholdon keresztüli telefonátvitelhez egy úgy nevezett csatornaképző berendezésre volt szükség, melynek kifejlesztésére a TKI vállalkozott. A TKI digitális, SCPC (Single Carrier per Channel), INTERCSAT nevű csatornaképzője alapkiépítésben 12 forgalmi + 2 szolgálati, 64 kbps PCM rendszerű telefoncsatornát vitt át négyállapotú fázismodulációval. A berendezést úgy alkották meg, hogy az Intelsat és az Interszputnyik műholdakkal egyaránt együtt tudjon működni. Ennek elsősorban az 1990-es évek után volt jelentősége, amikor a felhasználók egy része a szovjet műholdak mellett Intelsat műholdakon keresztül is forgalmazni kívánt. [17]

4. Haditechnikai eszközök és berendezések

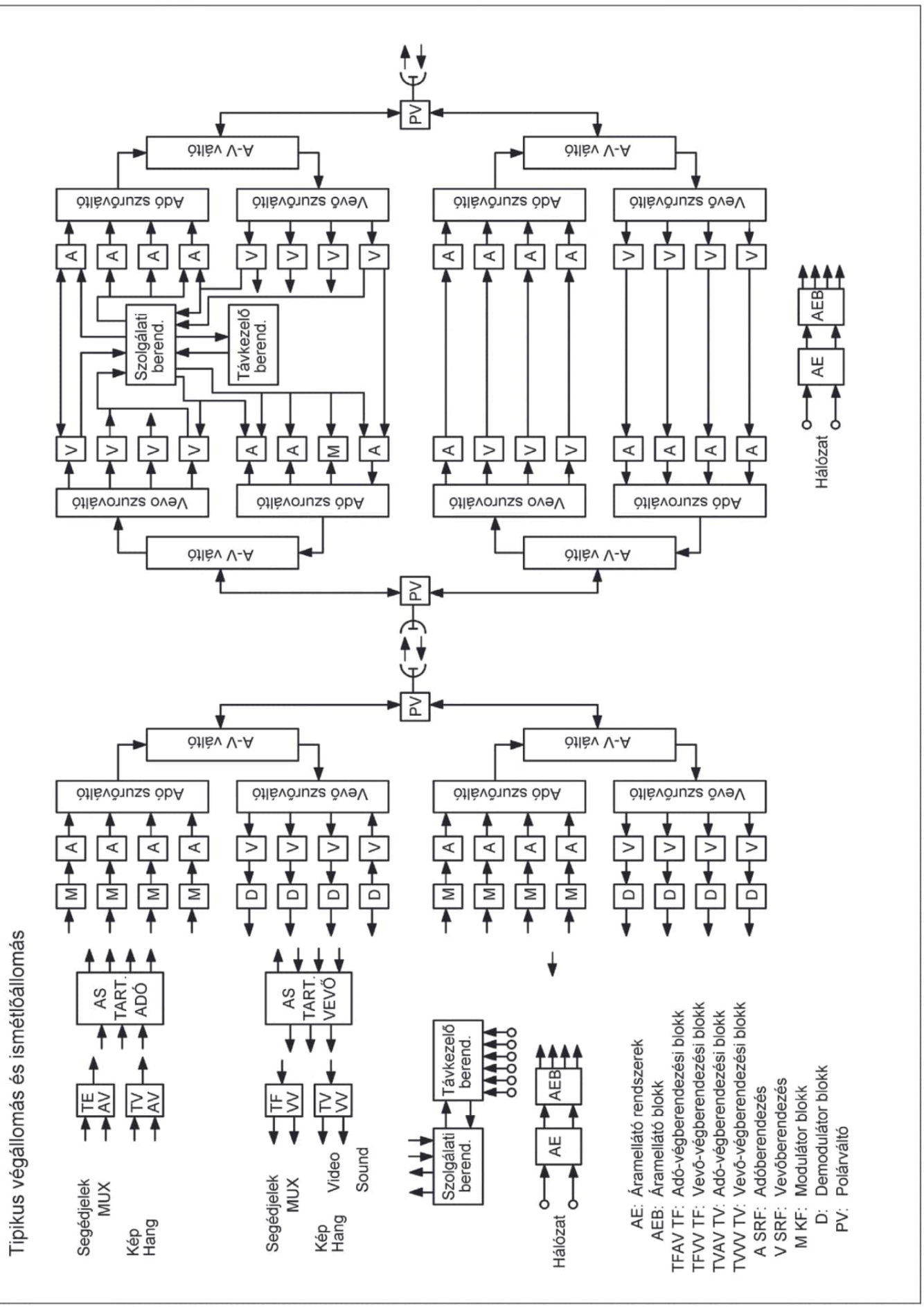
4.1. A kezdeti évek haditechnikai munkái (1951 –1956)

Az 1950. június 25-én kirobbant Koreai háború miatt a magyar vezetés fokozott ütemű katonai felkészülést látott szükségesnek. A folyamatokat egy *Üzemgazdasági Tanács (ÜT)* fedőnevű bizottság (elnök Gerő Ernő, tagok Farkas Mihály, Vas Zoltán, továbbá még néhány miniszter és Bata István vezérőrnagy, vezérkari főnök) irányította. Az ÜT 1950. december 13-án kelt határozata szerint a TKI kutatási tervének a következő fejlesztéseket és kutatási témákat kell tartalmaznia: tüzérségi lokátor, távol- és közel-felderítő lokátor, korszerű közelségi gyújtó, elektronikus lőelemképző és sokcsatornás mikrohullámú „hírtengely” mintapéldányának elkészítése.

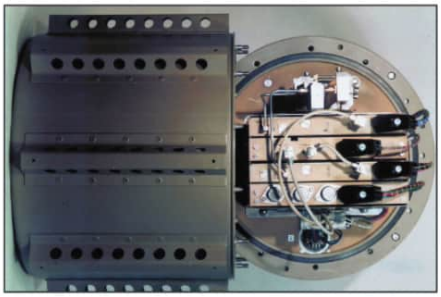
Utasították a TKI-t, hogy 10–15 fordítóval, 15–20 rajzolóval és gépírókkal készüljön fel a honosítandó szovjet radartípusok gyártási dokumentációinak feldolgozására. Az ÜT 1952. március 17-ei határozata intézkedett arról, hogy a TKI feladatkörébe tartozzon a kutatás eredmények gyártásbevezetésével kapcsolatos kísérleti munka is. A szabadtéri kísérletek helyigénye és a titkosság biztosítása érdekében elrendelték a lokátorfejlesztés- és gyártás egy, a Bugyi–Ócsa műút melletti területen építendő épületbe való költöztetését [18].



10. ábra


Tipikus végállomás és ismétlőállomás
PV
A-V váltó
Adó szurőváltó
Vevő szurőváltó
Szolgálati berend.
Távkezelő berend.
AEB
AE
Hálózat
M
D
A
V
AS TART. ADÓ
AS TART. VEVŐ
TE AV
TV AV
TF VV
TV VV
Segédjelek MUX
Kép Hang
Video
Sound
AE: Áramellátó rendszerek
AEB: Áramellátó blokk
TFAV TF: Adó-végberendezési blokk
TFVV TF: Vevő-végberendezési blokk
TVAV TV: Adó-végberendezési blokk
TVVV TV: Vevő-végberendezési blokk
A SRF: Adóberendezés
V SRF: Vevőberendezés
M KF: Modulátor blokk
D: Demodulátor blokk
PV: Polárváltó

11. ábra



12. ábra

A honosítandó szovjet radarok közül elsőként a SZON-4 jelűt kívánták gyártásba vinni. Ezt a lokátort az amerikai hadseregtől kapott SCR-584 típusjelű berendezés dokumentációja alapján gyártotta a szovjet hadiipar. A szovjet berendezés honosításával párhuzamosan az 1948 nyarán újjászervezett Haditechnikai Intézet (HTI) koordinálásával a TKI és több magyar vállalat összefogásával megkezdték egy magyar konstrukciójú később LRB-T1 típusjelű lokátor fejlesztését is. Az elkészült minta alapján, a GAMMA telephelyén 1951 májusában megalapított Finommechanikai Vállalat (FMV) már 1953-ban 10 darabot le is gyártott. Bár a terepvizsgálatok azt mutatták, hogy a magyar lokátor több tekintetben jobb, mint a honosított szovjet típus, mégis annak rendszeresítését fogadták el és a magyar konstrukció dokumentációját megsemmisítették. De végül a honosított szovjet típus gyártására se került sor, mert az 1956-os forradalom után a Bugyi mellett megkezdett építkezéssel együtt minden magyarországi lokátorgyártást leállítottak. Hasonló sorsra jutott a TKI-ban fejlesztett közelségi gyújtó is, melyet légelhárító lövedékekbe beépítve terveztek alkalmazni.

Bár a történelem a kutatási feladatokat évekre felfüggesztette, a belefektetett munkának mégis volt olyan hozadéka, amely a főtéma, a mikrohullámú rádiórelé fejlesztési munkák során hasznosult. Nyilvánvaló, hogy a leállított munkákkal kapcsolatos alkatrész, technológia, méréstechnika és sok egyéb tapasztalat jó iskola volt a mikrohullámú hírközlő berendezések fejlesztéséhez.

13. ábra

4.2. Haditechnikai eszközök és berendezések (1965-1994)

A haditechnikai eszközök és berendezések TKI-ban folyó fejlesztésének az 1956-os forradalmat követő teljes leállítása után csak a hatvanas évek második felében indultak újra katonai programok. A világ elektronikai haditechnikai eszközeinek gyors fejlődése a szocialista tábor országait is kényszerhelyzetbe hozta. Ezért a szovjet hadiipar tehermentesítése érdekében is a KGST Hadiipari Együttműködési Állandó Bizottság (HEÁB) szakosítást hajtott végre, melynek során a mikrohullámú tartományok lehallgatására szolgáló a rádiófelderítő- és zavaró állomások fejlesztésének és gyártásának feladatát Magyarországra osztották [19]. Ahogy a radar- és légelhárító rendszerek alkalmasak a légtér megfigyelésére és védelmére, úgy egy haderőnek szüksége van olyan berendezésekre, melyek lehetővé teszik a rádiótér megfigyelését és védelmét. Ezért a hatvanas évek második felétől a Magyar Néphadsereg katonai hírszerzésének feladatává vált a NATO-országok, valamint Ausztria katonai hírközlésének figyelése, lehallgatása, megfejtése, rögzítése és feldolgozása, továbbá a Földközi-tengeren zajló hírforgalom (az USA flottájának) követése [20].

Ez a feladat a rádiótér teljes spektrumának folyamatos megfigyelését és a fellelt adók azonosítását, iránymeghatározását, valamint jeleinek lebontását, és/vagy zavarását igényelte. Ehhez olyan szélessávú elektronikusan hangolható mikrohullámú vevőkre volt szükség, melyekhez az eddig ismert klasszikus félvezetős megoldások nem voltak alkalmazhatók. A széles frekvenciasávban való hangolást az ittrium-vas-gránát (YIG) egykristály felhasználásával készített új eszközök, oszcillátorok, szűrők és egyéb áramkörök alkalmazása tette lehetővé. A 0,5…1 mm átmérőjű egykristály YIG gömböket tartalmazó mikrohullámú szalagtápvonalas áramkörök működési frekvenciája a külső mágneses tér mértékével volt állítható. Minthogy a YIG kristályokat csak nagyon nehezen és igen költségesen lehetett beszerezni, a TKI fejlesztői jelentős kutatómunkával kidolgozták a szükséges YIG egykristály-gömbök Intézeten belüli gyártását és ezek felhasználásával széles tartományban működő YIG-hangolású oszcillátorokat tudtak berendezéseikbe beépíteni.

Abban az időben katonai hírközlésre többnyire a 0,5…2,4 GHz-es sávot használták, de az évek múlásával a frekvenciasáv 40 GHz fölé is kiterjedt. A spektrumanalizátorként működő vevők által fellelt idegen adók komplex jeléből analóg (FDM) és digitális (PCM, vagy PC-jelegű) lebontó berendezések állították elő a vizsgált csatorna beszéd- vagy adatjeleit. A TKI az amerikai és európai polgári szabványok, ill. az EUROCOM NATO szabvány szerinti frekvencia- és időosztásos multiplex jelek forgalomfigyeléséhez és egyes beszédcsatornák lebontásához megfelelő berendezéseket dolgozott ki. A kezelhető multiplex jelek készletét az operátorok bővíthették a használat során felismert rendszerekkel. A kezelő a fellelt adók spektrumát, paramétereit és forgalmát képernyőn követhette, ami segítséget nyújtott azok modulációs rendszerének felismeréséhez.

A Hadvezetés elvárta a TKI-tól, mint a program vezetőjétől, hogy a vevő- és demultiplexer berendezésekre alapozva olyan mobil állomásokat fejlesszen ki és gyártson le, amelyek gépkocsiba vagy konténerbe építve minden kiegészítő egységet is tartalmaznak: hangfrekvenciás rögzítő berendezéseket, gyorsan telepíthető antennákat, rádiózavaró berendezéseket, áramfejlesztő aggregátort, és még a kezelők számára szükséges bútorokat is. A teljes állomás számos részét partnervállalatok gyártották. Például a gépkocsikat a katonaság adta, a gépkocsi beépítését és az antennarendszert a Híradótechnikai Vállalat, az alacsonyabb frekvencián működő vevőkészülékeket, valamint a magnetofonokat a Mechanikai Laboratórium stb.

A mobil állomások és a parancsnokság, valamint az egymás közötti kapcsolatokat az antennával egybeépített, lehallgatás ellen védett, kiterjesztett spektrumú, mikrohullámú rádióberendezések biztosították. E berendezéseket a TKI munkatársai, a Budapesti Műszaki Egyetem Mikrohullámú Híradástechnika Tanszék oktatói és az FMV fejlesztői közösen dolgozták ki. [21]

A folyamatosan fejlesztett és egyre jobb minőségben és egyre nagyobb mennyiségben gyártott rádiófelderítő berendezések az évek során a magyar hadiipar fontos termékeivé váltak, melyek jelentős bevételt biztosítottak a TKI-nak is. E munkák a maguk idejében természetesen nem voltak publikusak, de néhány TKI gyártmányú termékről, mint például az S-V2/18

lokátorfelderítő- és zavaró rendszerről, vagy a TKI egyik mikrohullámú vevőjelanalizátor készülékéről már akkor is hírt adott a hazai szaksajtó.

5. A Mikrohullámú Összeköttetések Kollokviumai – a Microcoll konferenciák

A TKI tudományos kutatómunkájának igazi színvonalát és eredményességét a Mikrohullámú Összeköttetések Kollokvium, a későbbi Microkoll, nemzetközi konferenciák mutatták meg. Az elsőt, *dr. Bognár Géza*, a TKI tudományos igazgatója szervezésével a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya és a Híradástechnikai Tudományos Egyesület 1959. november 10-13. között rendezte meg az MTA székházában. A kollokviumon 7 országból, 18 külföldi vendég vett részt, 10 külföldi és 21 magyar előadás hangzott el. A Popov Egyesületet *V. I. Sziforov* elnök, az amerikai Institute of Radio Engineers szervezetet *Donald B.Sinclair* alelnök (a későbbi IEEE elnök) képviselte.

A kedvező hazai és nemzetközi visszhangnak köszönhetően 1962. június 12-15. között került sor a II. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokviumra. Ekkor már az előadások – igaz csak utólag – de megjelentek angol nyelven.

Az igazi nemzetközi konferenciává válást az 1966. április 19-22. között megtartott III. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokvium jelentette. Ekkor az előadások meghirdetése a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően történt és a jelentkezők nagy száma miatt már párhuzamos szekciók indítására volt szükség (hírközlő rendszerek elmélete – hálózatelmélet – elektromágneses térelmélet – mikrohullámú áramkörök – mikrohullámú eszközök – mérések és műszerek). Ezt az elméleti igényességet és a gyakorlati orientációt tükröző beosztást későbbi konferenciák is megőrizték. Ekkor vezették be a konferenciasorozat *Microcoll* elnevezését. A konferencia előadásait egy reprezentatív kötet tartalmazta. A IV. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokviumot 1970. április 21-24. között rendezték meg. Ez volt az első alkalom, hogy a rendezvényt a Nemzetközi Rádiótudományi Szövetség (URSI) is támogatta. A konferencia angol nyelvű volt, tolmács nélkül. Az előadások immáron öt kötetben kiadott szövegét a résztvevők regisztráláskor kézhez kapták.

Az V. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokviumot 1974. június 24-30. között az URSI és az MTA támogatásával – 26 nemzetközi és 18 hazai szervezőből álló – nemzetközi rendezőbizottság hozta létre. Az eddigi tematika kibővült a mikrohullámú hírközlés fejlődési irányai és a félvezető és mágneses anyagok mikrohullámú alkalmazásai témakörökkel. A nemzetközi rendezőbizottság az előadások véleményezésével és a Kollokvium értékelésével nagy segítséget nyújtott a nemzetközi konferencia színvonalának emeléséhez. Az előadások, öt kötetben, most is előzetesen jelentek meg.

A VI. és VII. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokvium (1978. augusztus 29 - szeptember 1., illetve 1982. szeptember 6-10.) a kialakult szervezési elveknek, a nemzetközi gyakorlatnak és a hazai hagyományoknak megfelelően zajlott le. A konferencia kiadványai előzetesen kerültek kiadásra. Mindkettőre jellemző volt a résztvevők magas száma (kb. 400), ami bizonyította, hogy a Microcoll elismert nemzetközi fórummá vált, és jelezte a magyar kutatók kiterjedt nemzetközi tudományos kapcsolatait. Ezzel a Mikrocoll alkalmassá vált arra, hogy bekerüljön a nemzetközi szervezetek rendszeresen ismétlődő rendezvényeinek sorába. Ezt elsőként a Nemzetközi Rádiótudományi Szövetség (URSI) tette lehetővé, amikor 1986. augusztus 25-29. között egy időben és egy helyen tartották a VIII. Microcollt és az URSI Elektromágneses Térelmélet Nemzetközi Szimpóziumát (URSI ISEMT). Mivel az elektromágneses térelmélet az URSI ISEMT-hez került, a kollokvium témakörei módosultak: – A hírközlés fejlődési irányai – Informatika és jelfeldolgozás – Hálózatelmélet és számítógépes tervezés – Mikrohullámú áramkörök és eszközök. Az előadásokat két külön kiadvány tartalmazta. A kettős konferencia sikerét mutatta, hogy 41 országból 470 szakember vett részt rajta és 29 olyan többszerzős előadás is elhangzott, melynek szerzői együttműködésük eredményéről számoltak be.

E konferencia rendezőbizottsága megállapodásának megfelelően a következő, immár kilencedik Mikrocollt, 1990. szeptember 9-13. között, ez alkalommal a 20. Európai Mikrohullámú Konferenciával, az EuMC-vel együtt, ismét Budapesten tartották.

A Microcoll résztvevői között a világ legjobb szakembereit találhatjuk, így annak világméretű elfogadottsága jól bizonyítja, hogy a TKI kutatói, a Budapesti Műszaki Egyetem tanárai és a mikrohullámú berendezésgyártók fejlesztőinek felkészültsége, tudása és kutatási eredményei összemérhetők voltak a szakma legkiválóbb külföldi művelőinek képességeivel. Bár a Budapesten megrendezett Microcollok sora, egy hosszabb szünet után folytatódott (1999. 03. 21-24., 2003. 09. 10-11. és 2007. 05. 14-16.), de azokon a TKI kutatói már nem vehettek részt [22].

6. A TKI megszűnése

A rendszerváltást előkészítendő az 1988/1989 évi parlamenti ciklusban az Országgyűlés megszavazta a gazdasági társaságok átalakulásáról szóló. 1988. évi VI. törvényt, majd a gazdálkodó szervezetek és a gazdasági társaságokról szóló 1989. évi XIII. törvényt. E két törvény indította el az állami tulajdon lebontását, melynek kiváló eszközei voltak a nyugati nagyvállalatoknak való átjátszás, a trükkök százaival megoldott magánosítás, vagy ha másképpen nem ment, akkor a felszámolás. E folyamatok elől a mikrohullámú berendezések kutatás-fejlesztési munkáit finanszírozó polgári vállalatok (FMV, Orion) sem menekülhettek el, így azok kénytelenek voltak kihátrálni a még folyó fejlesztési munkák további finanszírozásából. Számos más szakterületen hasonló volt a helyzet, amivel az Intézet elvesztette megrendelői jelentékeny részét. Bár a haditechnikai rendelések még ekkor is számottevő árbevételt biztosítottak, az nem volt elegendő a teljes kutatófejlesztő bázis működtetéséhez. Ezért aztán megkezdődött az Intézet leépülése. Ennek első jele a legjobb erők menekülése volt. Egyes munkacsoportok kiléptek az Intézetből és tudásukra alapozva önálló vállalatokat alapítottak (pl. TOTALTEL, MAXPERT). Sokan állást változtattak. Egyesek a Magyar Távközlési Vállalatnál, mások a Budapesti Műszaki Egyetemen, de legtöbben a frissen alakuló magyar és külföldi vállalatoknál, például mobilcégeknél helyezkedtek el. Akiknek még volt munkájuk és a TKI munkatársai maradtak, ők is bármit elvállaltak a szükséges árbevétel biztosítása érdekében. A mikrohullámú rádiórelé berendezések fejlesztői vállalták a Magyar Távközlési Vállalat által megrendelt FMV és Orion gyártású vonalak telepítését és üzembe helyezését. A telepítéshez szükséges azon berendezéseket, melyeket a gyártók már nem vittek gyártásba, maguk gyártották le. Mások pedig a rohamos sebességgel kiépülő mobilhálózatok telepítésében vettek részt. Közben a TKI épületét meg-

szerezte a Nemzetbiztonsági Hivatal és az egyre csökkenő létszámú Intézetet átköltöztették egy a XIV. kerületben levő, Ungvár utca 64-66 alatti irodaházba. Itt már csak az életképes tevékenységeket folytatták, melyek közé elsősorban a hadiipari berendezések kutatás-fejlesztési és gyártási munkái tartoztak.

A privatizálhatóság előkészítése érdekében 1994. 05. 18-án az addig költségvetési intézményként működő Intézetet *Távközlési Innovációs Rt (rövid neve TKI)* néven gazdasági társasággá alakították. A privatizáció lehetőségét korlátozta az a körülmény, hogy az Intézetben folyó haditermelés meghaladta az össztermelés 45 százalékát. Ugyanakkor éppen ez indokolhatta volna, hogy a Kormány a Távközlési Innovációs Részvénytársaság félmilliárd forintot meghaladó adósságának elengedésével segítséget nyújtson ország egyetlen olyan állami tulajdonú kutatóintézetének, amely még képes volt a hadsereg számára speciális informatikai és híradástechnikai berendezéseket fejleszteni. Erre azonban nem került sor és végül is az Intézet jól működő részlegeit néhány Kft.-be kiszervezve a Távközlési Innovációs Részvénytársaságot 2001-ben felszámolták és törölték a cégjegyzékből [23].

Irodalom:

1. TKI a hazai infokommunikáció és alkalmazás egyik bölcsője, Előadások a TKI-ról az Óbudai Egyetemen, 2015. 10. 01.; https://itf.njszt.hu/itf_rendezvenyek/a-tki-a-hazai-info-kommunikacio-es-alkalmazasfejlesztes-egyik-bolcsoje
2. Bognár Géza: Szélessávú mikrohullámú rádióösszeköttetések hazai kutatási eredményei,; a MTA Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei, 26. kötet, 9–24. o., 1960.
3. Dallos András: Hazai vákuumtechnikai termékek mikrohullámú berendezésekhez; a MTA Műszaki Osztályának Közleményei, 26. kötet, 57-64. o., 1960.; https://adtplus.arcanum.hu/hu/viewMUSZTUD_26/?query=SZO%3D(Dallos%20AND%20v%C3%A1kuumtechnika)&pg=62&layout=s
4. Kása István, Almássy György szakmai tevékenysége; Híradástechnika, 1986. 06. 03, 242-246. o. https://hiradastechnika.hu/data/upload/file/1986/06/1986_06_03.PDF
5. Lázárbibi (nick-név): A Finommechanikai Vállalat története, http://lazarbibi.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=155:az-fmv-tortenete&catid=22&Itemid=123
6. Malcsiner Ferenc: Mikrohullámú hírközlő rendszerek; Híradástechnika, 1981. 06. 06, 221-226. o. https://www.hiradastechnika.hu/data/upload/file/1981/06/1981_06_06.PDF
7. Berceli Tibor: Haladóhullámú erősítők; Magyar Híradástechnika, 1960. 06. 01, 108-114. o. https://adtplus.arcanum.hu/hu/view/BME_MagyarHiradastechnika_1960/?query=SZO%3D(Berceli%20AND%201960)&pg=115&layout=s
8. Lajtha György (szerkesztő): A postamérnöki szolgálat második 50 éve; Magyar Távközlési Vállalat, Budapest, 1991., 178. o.
9. A Druzsba a Budapesti Nemzetközi Vásáron; Élet és Tudomány, 1969. 05. 23., 1000-1001. o. https://adtplus.arcanum.hu/hu/view/EletEsTudomany_1969_1/?query=Druzsba&pg=993&layout=s
10. Malcsiner Ferenc: Mikrohullámú hírközlő rendszerek; Híradástechnika, 1981. 06. 06, 221-226. o. https://www.hiradastechnika.hu/data/upload/file/1981/06/1981_06_06.PDF
11. A Finommechanikai Vállalat új típusú mikrohullámú berendezései; Műszaki Élet, 1973. 05. 25., 368. o. 1/?query=SZO%3D(M%C5%B1szaki%200W%20%C3%89let%20AND%20skylab%20AND%20T%C3%A1vk%C3%B6zl%C3%A9si)%20&pg=367&layout=s
12. Lajtha György (szerkesztő): A postamérnöki szolgálat második 50 éve, 1938–1988; Magyar Távközlési Vállalat, Budapest, 1991.
13. Kooperáció a magyar és az indiai híradástechnikai ipar között; Népszabadság, 1973. 01. 21, 3. o. https://adtplus.arcanum.hu/hu/view/Nepszabadsag_1973_01/?query=SZO%3D(N%C3%A9pszabads%C3%A1g%20AND%20Kooper%C3%A1ci%C3%B3%20AND%20indiai)%20AND%201973&pg=218&layout=s
14. Jakubik Béla: Az Orion Gyár mikrohullámú szélessávú rádiórelé berendezései; Híradástechnika, 1974. 02. 10, 54-56. o. https://www.hiradastechnika.hu/data/upload/file/1974/02/1974_02_10.PDF
15. Rákosi, Herpy, Berceli and Róna: Family of third Generation Radio Relay Equipment Operating in the 4-6-7-8 GHz Frequency Ranges; Budavox Review 1983/1, 2-10. o.
16. GTT-80 és KTT-80 berendezése Budavox kiadású gyártmányismertetői
17. Pápics József: A TKI fejlesztési eredményei a nemzetközi műholdas kommunikáció területén; NJSZT Informatikatörténeti Fórum írások gyűjteményében, https://itf.njszt.hu/324rtr4/uploads/2021/04/urtavkozlesi_fejlesz-tesek_a_tki-ban_1983-1991.pdf
18. Germuska Pál: A magyar középipar, Hadiipar és haditechnikai termelés Magyarországon 1945 és 1980 között; Argumentum Kiadó, Budapest, 2014. http://real.mtakhu/22286/1Agumentum_GermuskaPal_Magyar_kozep-gepipar_REAL_J_be_u_104151.40803.pdf
19. Germuska Pál: Vörös arzenál – Magyarország részvétele a nemzetközi hadiipari együttműködésben a KGST keretei között; Argumentum Kiadó, 2010.
20. Dékány István – Szőnyi István: A magyar katonai rádiófelderítés története; Zrinyi Kiadó, 2009.
21. Germuska Pál: Kadhafi „fülei". Rádiófelderítő-berendezések gyártása Magyarországon, 1965-1985; Történelmi Szemle, 2008. 1. szám, 95-108 o.
22. Forrás: az Akadémiai Kiadó Proceedings kötetei.
23. Kiszervezik a megmenthető divíziókat a Távközlési Innovációs Rt.-ből. Napi.hu, 2001. február 14.; https://www.napi.hu/napi_hirvero/kiszervezik_a_megmentheto_divizio-kat_a_tavkozlesi_innovacios_rt-bol_.62282.html

HP–990B In-circuit • SMD R-C-D mérő • 3¾ digites kijelzés

R-mérés 40 Mohm-ig C-mérés 200 mikroF-ig
D-mérés kapocsfeszültség-kijelzéssel
Relatívérték-mérés Aut. tápfesz. kikapcsolás

HAM-bazár Ára: 7.990 Ft 239-4932/36 m. 239-4933/36 m. 1550 Bpest., Pf. 123 hambazar@radiovilag.hu 2

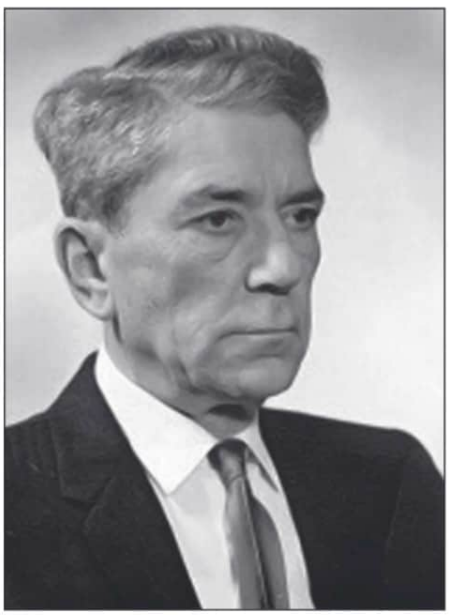
„A Holdat ott láttam elsétálni a torony mögött, s azt kérdeztem a felnőttektől: ha felmásznék a toronyra meg tudnám-é tapogatni a Holdat?” (Bay Zoltán)

A magyar Hold-radar kísérlet

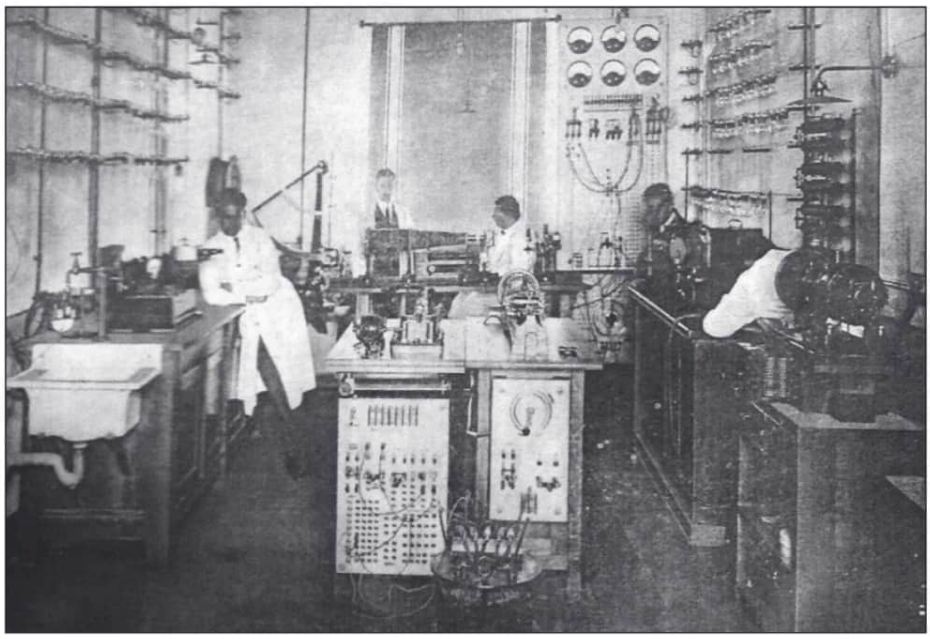
Irházi Sándor okl. villamosmérnök, HA5LR

2021. év februárjában emlékeztünk meg az első sikeres magyar Hold-visszaverődéses radarkísérlet 75. évfordulójáról. Ez az írás – felidézve az akkor történteket – emléket állít e nagyszerű magyar sikernek és tisztelettel adózik a résztvevő személyeknek. Az eseményt sokan, sok helyen részletesen feldolgozták már, ezért itt teljességre nem törekedhetünk, inkább néhány technikai megoldást és a teszt előzményeit, következményeit emelnénk ki.

A történetet néhány évvel előbb kell kezdenünk. Az 1940-es évek elején, II. világháború kiteljesedésével egyre nyilvánvalóbbá vált, hogy sajnos Magyarország sem kerülheti el a harcokat. Katonai szempontból szükség volt tehát az idegen repülőgépek előrejelzése, valamint a légvédelmi tüzérség támogatása érdekében a viszonylag új rádiótechnikai eszköznek, a radarnak alkalmazására. Ennek fejlesztésére igen alkalmasnak látszott az Egyesült Izzó, más néven a Tungsram gyár. Itt már régóta gyártottak világszínvonalú elektroncsöveket, sikeres próbálkozások történtek azok mikrohullámú alkalmazására, és a rádiótechnikai fejlesztésekben is jártasak voltak. A Honvédelmi Minisztérium támogatásával létrehoztak egy körülbelül negyven fős, kutatókból és műszerészekből álló csoportot a feladat végrehajtására, vezetőjük *dr. Bay Zoltán* (**1. kép;** [1]) lett, aki egyben a kutatólaboratóriumot (**2. kép**; [2]) is vezette. Három munkatársáról is álljon még itt kép: *dr. Simonyi Károly* (**3. kép**; [2]), *dr. Barta István* (**4. kép**; [3]) és *dr. Jáky József* (**5. kép**; [2]). Az újonnan kifejlesztett elektroncsövekkel sikerült mikrohullámú összeköttetéseket létesíteni, és már 1943. elején megtörtént az első radaros észlelés, kb. 50 cm-es hullámhosszon: jól érzékelhető jeleket kaptak tereptárgyakról, repülőgépekről. Nem tudni, német vagy amerikai eredményeket ismertek-e, felhasználhattak-e a munkájukban. A fejlesztés ígéretesen haladt, az év második felében pedig már „hadra fogható” lokátorral rendelkeztek, és a Standard megkezdte a gyártást. Az elkövetkező hónapokban néhány darab, különféle rendeltetésű berendezés készült, a szakértők szerint igen jó paraméterekkel.



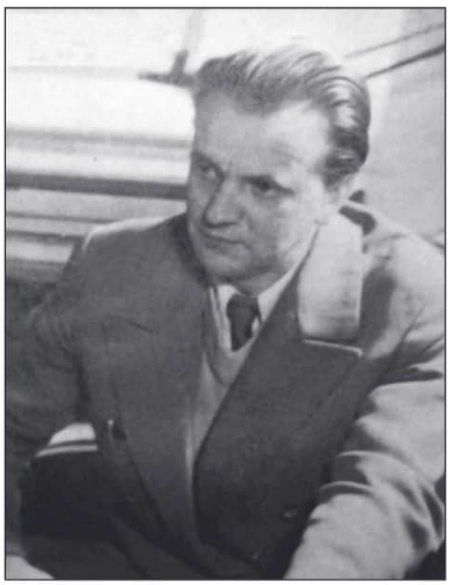
1. kép



2. kép

Az 1944-es tervezett radarkísérlet

Az ország német megszállása és a közvetlen hadszíntérré válása után a csoport a radarkísérleteket nem folytathatta tovább, így került előtérbe a Hold,



3. kép

4. kép

mint visszaverő felület. A gondolat nem volt új, de addig még senkinek sem sikerült a visszaverődött jeleket detektálnia. Az ötlet ismételten Bay Zoltántól származik: *„Meg fogjuk lokátorozni a Holdat, s megnézzük, miként érkeznek vissza a jelek!”* [5] – jelentette ki, és a csapat hozzákezdett megvalósítani a tervet. A teória, hogy rádiókapcsolatot lehet más égitesttel létesíteni, igen csábítónak tűnt, de egyben rendkívül nehéz feladat elé is állította őket. A Hold nagy távolsága, az ismeretlen átviteli közeg (az ionoszféra átereszti-e a jelet, milyen a Hold visszaverő képessége? stb.), és a felhasználható eszközök hiányosságai miatt reménytelennek látszott a siker. A visszaverődött jelek az előzetes számítások alapján mélyen a detektálható szint alatt maradnak majd és elvesznek a zajban. Szintén a vezető Bay Zoltán

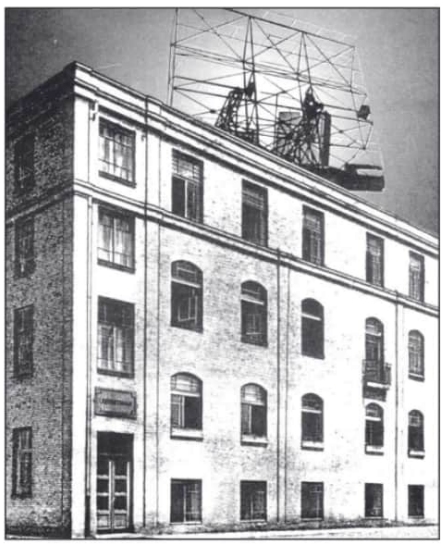
5. kép

adta a megvalósításhoz vezető ötletet: ha sokszor elvégezzük a műveletet és összegezzük azok eredményét, lehetséges lesz a sikeres teszt. Ugyanis az összegzés során a zaj mindig csak az egyes értékek összegének négyzetgyökével arányosan adódik össze, míg a hasznos jelek összegződése egyenesen arányos. Tehát ha elegendően nagyszámú próbát végzünk, és ezeket a kapott jeleket összeadjuk, tároljuk, a hasznos jel egyre nagyobb lesz, végül „kidugja a fejét a zajból”. Ez volt az az ötlet, ami végül sikerre vitte a vállalkozást. Az összegző és tároló pedig egy, a rádiótechnikában szokatlan eszköz, a hidrogén voltaméter, más néven *coulométer* volt: az eljárás során képződő gáz mennyisége adta az összegzés eredményét. A számításaik szerint a rendelkezésre álló eszközökkel mintegy 1000 mérés elvégzése kellett a kiértékelhető eredményhez. A Hold távolságából adódóan a kisugárzott jelek kb. 2,5 s-os út után érkeznek vissza, ezért 3 s-kénti ismétlést alkalmazva, ez hozzávetőlegesen 50 min-os összegzést jelentett.

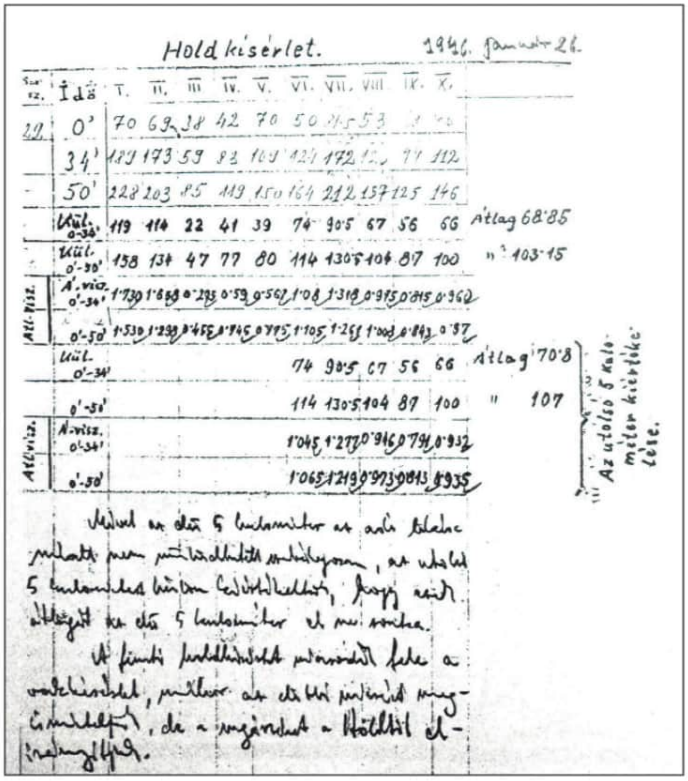
Az elvek tisztázása után a terv tehát elkészült, a megvalósítás következett, amelyet nagymértékben segítettek az előzetes mikrohullámú lokátorkísérletek, a gyárban felhalmozódott anyagi és erkölcsi tőke, a tudás, a tapasztalat. Az előkészítés Újpesten, a Tungsram laboratóriumában kezdődött, de később, a bombatámadások miatt Nógrádverőcére, egy panzióba költözött a csoport. Mivel a már kifejlesztett, a földi radarhoz szükséges eszközöket is felhasználhatták, jól haladt a munka. Így 1944. szeptember elején már néhány, a Holdra irányított kísérletet is el tudtak végezni, de egyelőre eredménytelenül. Ennek oka volt a berendezések kiforratlansága mellett az akadozó áramszolgáltatás is. Szeptember végén a fővárosba visszaköltöztették a stábot, másnap bombatalálatot kapott a panzió. Azonban a közeledő háborús események, a nyilas uralom miatt már a fővárosban sem tudták folytatni a kísérleteket. A berendezéseket szétszedve elrejtették ugyan, ennek ellenére a harcok során azok megsemmisültek, az oroszok hadizsákmányként elvitték, vagy elvesztek.

Az 1946-os sikeres teszt

A munka 1945. február végén folytatódott a megmaradt és fellelhető eszközökkel, a terv részleges átdolgozásával. Komoly akadályt jelentett, hogy a gyár berendezéseinek jó részét a szovjet csapatok leszerelték, elszállították. A csoport egy, a Standardtól kapott félkész felderítő radar mechanikáját használta fel, ez mozgatta megfelelő irányba az antennát. Feltételezhetően a SAS fedőnevű radarnak az elektronikáját építették be a holdradar-rendszerébe, de emiatt az eredeti elképzeléshez képest alacsonyabb frekvenciára kényszerültek. Ez mintegy huszonötszörös veszteséget jelentett, de ezt az antennafelület és az integrálási idő növelésével valamelyest sikerült ellensúlyozni. A parabolaantenna helyett egy forgatható, dönthető, 6×8 m-es dipólantennarendszert építettek, közvetlenül a Kutatónak nevezett laboratórium fölötti tetőre, hogy adó- és vevőberendezés minél kisebb veszteséggel dolgozhasson (**6. kép**; [6]). 1945. legvégén már ismételten elkezdhették a Holdra irányított kísérleteket, ez leginkább a telehold környéki időben mutatkozott célszerűnek, mert a Napból érkező zavaró zaj ekkor alacsonyabb szintű volt. Szintén jelentős volt az üzem által okozott elektromos zavar, ezért éjszaka, kevésbé zavart környezetben folyt a munka. A *Papp György* által tervezett és a „műhold”-nak elnevezett eljárás szolgált a kiértékelő helyes működésének ellenőrzésére: a várható jelnek időben és nagyságban megfelelő értékű jelet szándékosan a rendszerbe juttatva, megjelent a megfelelő mértékű hidrogéngáz a coulométer üvegcsövében. A kísérletek ideje alatt az antennával folyamatosan követték a Holdat, majd minden valós kísérletet egy „vakpróba” követett, a Holdról elirányított antennával.



6. kép


Hold kísérlet. 1946. január 26.

7. kép

A sok eredménytelen teszt után végül február 6-án a próbálkozás sikerrel járt: a várakozások szerint a megfelelő időben megjelenő 4%-nyi hidrogéngáz-többlet, vagyis a zajból kiemelkedő jel mutatta a számítások helyességét és a kísérlet eredményességét. A mérés sémája és jegyzőkönyve a **7.**, **8.**, és a **9.** [7], [2] képen látható. A sikeres teszt eredményét még aznap sajtótájékoztatón jelentették be. A tesztek és a bejelentés alkalmával készült a **10. kép** ([8]), a világraszóló hír az újságok hasábjain is megjelent. Íme, itt látható belőlük néhány kivágás: (**11., 12., 13. kép** ([8]), **14. kép** ([7]).

A *Világ* újságírója így mutatta be a készüléket: „*... Rengeteg huzal, kapcsoló, titokzatos rádió-mammutlámpa, egy zúgó, csattogó, szikrázó kis sebesforgású gép összességéből tevődik ki a találmány lényege... Bay professzor működésbe hozta a gépet, a kis motor szikrázni kezdett, lila fények pattannak ki belőle, egy másik készülék pedig üveg alatt mutatta azokat a rövidhullámokat, amelyek elindultak a Hold felé, hogy onnan két és fél másodperc múlva visszaérkezzenek a Földre, egyenesen Bay professzor Radar-jának antennájába.*" Az újságíró alighanem kissé „túltolta" a látottakat.

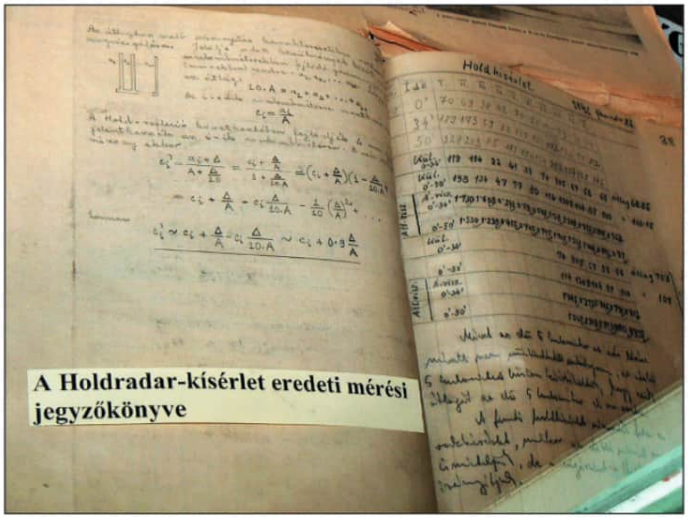
Hetekkel később a Napot is „megcélozták" hasonló szándékkal, de eredménytelenül, a Napból eredő rádiózajt viszont észlelték. A kutatók honorárium az akkori szűkös körülményeknek megfelelően néhány kilogramm krumpli, liszt és bab volt.

Január elején az Egyesült Államokban is végrehajtottak egy hasonló tesztet (*Diana project*), szintén sikerrel, de lényegesen komolyabb műszaki háttérrel, emiatt nekik nem volt szük-

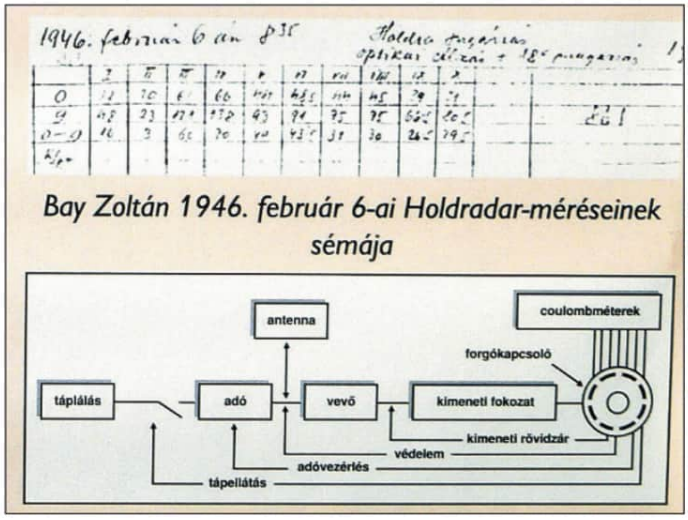
Múltidézés néhány korabeli újság, valamint feltehetőleg a kísérletek során készült felvétel segítségével. Bőrkabátban Bay Zoltán. A telefon a Kutatóintézet tetején ügyelő munkatárssal teremtett kapcsolatot, aki a Hold „megcélzását" végezte.

10. kép

11. kép


A Holdradar-kísérlet eredeti mérési jegyzőkönyve

8. kép



9. kép

12. kép

ségük a jelek integrálására, tárolására. Mint ismeretes, ők már tudhattak a készülő magyar kísérletekről, egy kényszerű jelentésből adódóan [4]. Megjegyzendő, a korabeli újságok angol, szovjet, ausztrál sikeres kísérletekről is beszámolnak, nem tudni, mennyire megalapozottan.

Így a zajszint alatti vétel kidolgozásának, alkalmazásának elsősége vitathatatlanul a Bay Zoltán vezette kutatócsoportot illeti. Emiatt, az 1944-es kísérletek, valamint a szükségből rendkívül egyszerű megoldások miatt az egész tudományos világ elfogadja a Bay-csoport elsőségét is a Hold-visz-

A Jövendő, a Magyar Szovjet Művelődési Társaság képes hetilapja II. évf. 6. számának címlapján olvasható: „Kijutottunk a világűrbe – Bay Zoltán, a kitűnő magyar atomfizikus, amerikai és szovjet tudósokkal majdnem egyidőben, szerdán, február 6-án este rádiókapcsolatot létesített a Holddal...” Mellette az Egyesült Izzó Kutatóintézetének tetején a Hold-radar kísérletekhez felépített antenna.

13. kép

VILÁG

Magyarországról is megtalálták a Holddal a közvetlen érintkezést

Szerda este teljes sikerre vezettek Bay Zoltán műegyetemi tanár kísérletei

Nagy Ferenc miniszterelnök programbeszédet mondott

14. kép

szaverődéses kísérletek tekintetében. A kísérlet eredményessége a magyar tudományos élet háború utáni újjászületését is bizonyította.

A visszaemlékezések nem egyértelműek, ezért, ha teljességgel nem is, de próbáljuk meg közreadni a lokátor és holdradar fejlesztésekben és kísérletekben résztvevők névsorát: dr. Bay Zoltán, *Bay Zoltán (unokaöcs)*, dr. Barta István, *Bodó Zalán, dr. Budincsevits Andor, Csiki Jenő, Dallos György, Detre László, Horváth Tibor, dr. Istvánffy Edvin*, dr. Jáky József, *Magó Kálmán, Nagy Pál Jenő, dr. Papp György, Patak János, Pintér János, dr. Pócza Jenő*, dr. Simonyi Károly, *dr. Sólyi Antal, dr. Szepesi Zoltán, Takács Lajos, Tari (Tary?) László, Vámbéry Lőrinc, Várbíró Emil, dr. Winter Ernő.*

Itt engedtessék meg egy személyes kitérő. Dr. Simonyi Károly és dr. Barta István úgy ötven évvel ezelőtt tanáraim voltak a Budapesti Műszaki Egyetemen. Tisztelettel és köszönettel tartozom nekik.

A háború utáni időszak, az újjáépítés, a politikai változások nem ked-

15. kép

16. kép

veztek a további kísérletezgetéseknek. Tény, hogy az újjáépítés, a termelés megindítása hatalmas feladatokat rótt az egész országra, és néhány vállalat a politikai támadások kereszttüzébe is került. 1948-ban Bay Zoltán az Egyesült Államokba távozott, munkatársai is más munkaterületre kerültek. Az antennát lebontották, a berendezés elemeit egyéb célra használták fel. Az esemény egy időre „feledésbe” merült, nem igazán illett beszélni róla. Ebből a korszakból származik a **15. képen** ([2]) látható rajz.

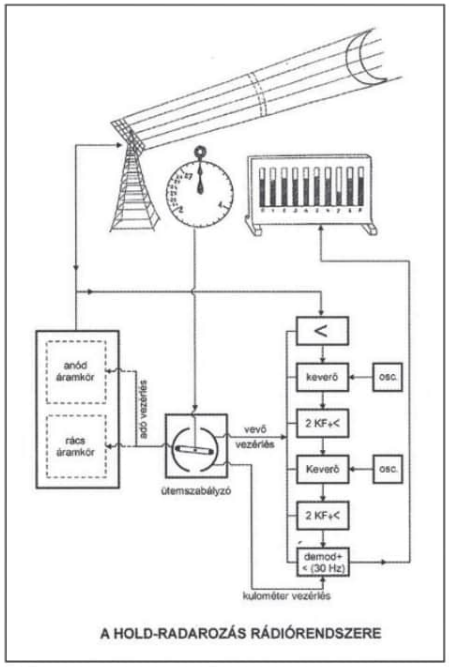
Negyven évvel később Bay Zoltán így értékelte a történteket: *„Tisztán tudományos kísérletünktől akkoriban két kérdés megválaszolását reméltük. Kijutnak-e egyáltalán a mikrohullámok a világűrbe, és ha igen, miként veri vissza a Hold ezeket a hullámokat? Ma már az is elmondható, hogy a magyar és a vele párhuzamos amerikai kísérlet elindított egy folyamatot, amelynek nyomán új tudományág született, a radarcsillagászat. ... Különös örömet szerzett, hogy a gyerekkori álom megvalósítása után mindössze negyedszázaddal a tévé képernyője előtt saját szemmel láthattam, amint embertársaim a Holdra lépnek.”* [9].

Ugorjunk időben egy kicsit még későbbre! 1973-ban hazalátogatott Bay Zoltán, a repülőtéren készült a **16. kép** ([7]), *Szent-Györgyi Albert* társaságában. Felkereste volt munkahelyét, újra találkozhatott volt munkatársaival,

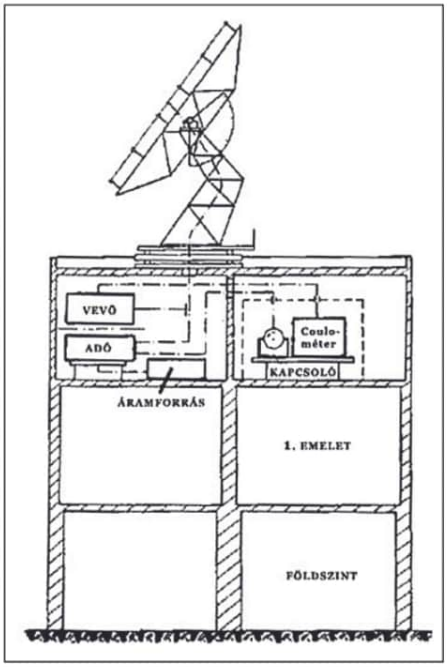
A Holdradar-kísérletet véghezvivők egy csoportja négy évtizeddel később. Balról jobbra: Szemző Imre, Bodó Zalán, Bay Zoltán, Vámbéri Lőrinc, Simonyi Károly (kissé takarva) és Budincsevits Andor

17. kép

18. kép



19. kép



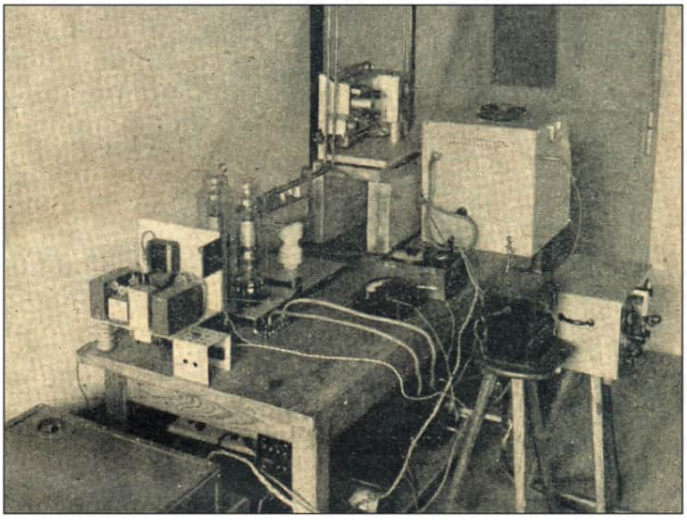
20. kép

egy ilyen későbbi látogatáskor készült a **17. kép** ([2]). Az Egyesült Államokban töltött munkássága alatt kiemelkedő jelentőségű a méterrendszernek a fénysebességhez való kötése. De ez már egy másik történet… A fizikus 1992-ban hunyt el, hamvai a gyulavári temetőben nyugszanak, Újpesten egy szobor őrzi emlékét (**18. kép**; [2]).

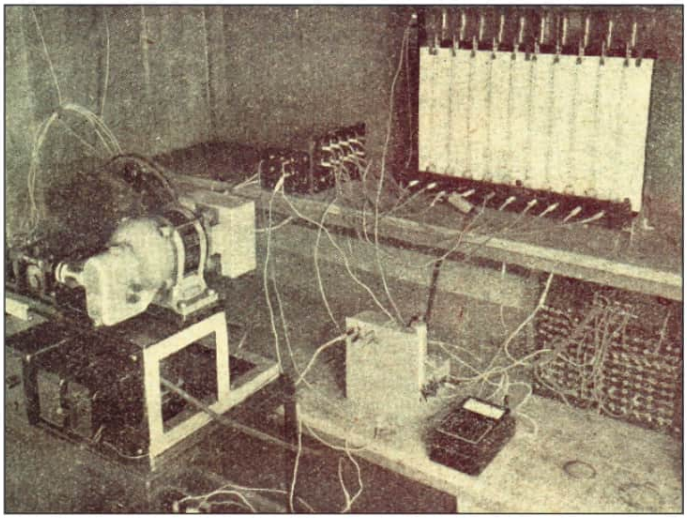
A kísérlet rádiótechnikai vonatkozásai

A kísérlet tárgyi eszközei közül alig maradt meg valami, sajnos ez is tipikusan magyar jelenség. A fennmaradt jegyzetek, visszaemlékezések is hiányosak, néhol ellentmondóak, de azért próbáljuk meg bemutatni ezt a speciális radarkészüléket! Két ábrát találtam, mely a rendszertechnikai felépítést mutatja, egyik a 9. képen, másik a **19. képen** ([4]) látható. A következő lényeges elemeket különíthetjük el: az adásra és vételre egyaránt szolgáló antennát, az adókészüléket, a vevőkészüléket, a kiértékelő berendezést (coulométer), valamint az egész rendszer együttműködését biztosító vezérlő időzítőt. A **20. képen** ([4]) látható a berendezések elhelyezése az épületben: az egyik szobában volt az adó és a vevő (**21. kép**; [10]), a másikban az egészet vezérlő kapcsoló szerkezet és a coulométer (**22. kép**; [10]). A leírások szerint árnyékoló háló vette körül a zavarokra érzékeny elemeket.

Röviden tekintsük át, milyen paraméterekkel rendelkező adó és vevő kell a megvalósításhoz! A Hold távolsága, átmérője ismert, a visszaverő képessége valószínűleg megegyezik a Földével. Első megközelítésben azt is feltételezhetjük, hogy a rádióhullámok lényeges csillapítás nélkül átjutnak a Föld ionoszféráján, oda- és vissza. A repülőgépek felderítéséhez használt radarokkal ellentétben itt nem volt cél a pontos helymeghatározás, ezért viszonylag hosszú adóimpulzust lehetett alkalmazni. Ennek persze a rendelkezésre álló adócső paraméterei szabtak határt. A radartechnikában alapvető reciprok törvény szerint ehhez viszonylag kis sávszélességű vevő tartozhat, ez jó a kis zaj miatt, de az ebből adódó kicsi sávszélesség és a hozzá tartozó frekvenciapontosság azonban nem könnyen megvalósítható. Ráadásul számolni kell a Föld saját tengely körüli, és a Föld-Hold rendszer egymás körüli forgásából következő Doppler-



21. kép



22. kép

23. kép

effektussal is. Mindent összevetve, a lehetőségeket is mérlegelve, kompromisszumokat kötve sem volt elegendő jel a detektáláshoz, több nagyságrendnyi teljesítmény hiányzott. Ebből a reménytelen helyzetből jelentett kiutat a körülbelül ezerszeres jelismétlés és az adatok összegzése, tárolása.

A rendelkezésre álló visszaemlékezések szerint végül a következő alapparaméterekkel épült meg a radar. A frekvencia: kb. 120 MHz, impulzusszélesség: 60...70 ms, ismétlődési idő: 3 s, adóteljesítmény: 3…10 kW, vevőérzékenység kb. 0,5 (?) uV (30 Hz), a vevő bemeneti sávszélesség 1 MHz, a coulométereket meghajtó végfokozat sávszélessége 20...30 Hz, az átlagolt jelek száma: 1000-1500, az antenna nyereség 15...16 (?) dB. Különböző adatokkal lehet találkozni a leírásokban, ezért ezek a széles határok.

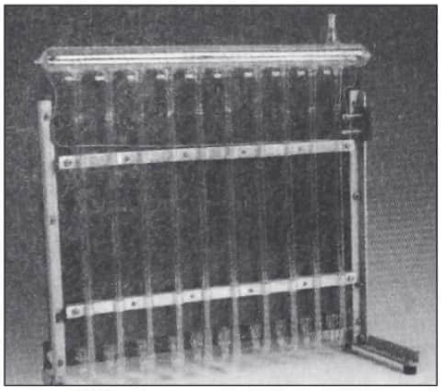
Az adóberendezést valószínűleg a kapott, megmaradt, félkész lokátorból alakították ki, és a lehető legegyszerűbb volt. Két darab ellenütemben járatott OQQ500/3000 típusú teljesítménytrióda (**23.** és **24. kép**; [6], [4]), mint oszcillátor állította elő a szükséges, 120 MHz frekvenciájú, néhány kilowatt csúcsteljesítményű jelet. Túlfeszített üzemben működtek, 6 kV-os anódfeszültséggel. Egy-egy impulzus szélessége 60...70 ms volt, ezek 3 s-ként követték egymást. A köztes időben a csövet a rácsra adott -2 kV-os jel lezárta, ekkor „pihent" a cső. Pontos kapcsolási vázlat sajnos nem maradt fenn, lehet, hogy nem is létezett

24. kép

végleges formában, hiszen állandóan módosítottak, javítottak a rendszer minőségén, ilyenkor általában „fejben" vannak az aktuális adatok. A 21. képen jól látható a két nagy elektroncső, és a valószínűleg az azoktól elvezető szimmetrikus tápvonal.

A vevőoldal már egy kicsit bonyolultabb. A leírások szerint egy kétszertranszponált vevőről beszélhetünk összességében, ami fizikailag is több részből állt. Szintén a fellelt adatok alapján a vevőbemeneten az akkor újonnan kifejlesztett nagy meredekségű EFF50 típusú csövet találjuk, ez volt az első keverőcső is. Az első középfrekvenciának 4,3 MHz-et, a másodiknak 2,5 MHz-et választottak, mindkettőt kétfokozatú erősítővel. Az első oszcillátor négyszerezéssel állította elő a keveréshez szükséges jelet, EL2 típusú csővel [4]. Érdekes, hogy ez nem igazán nagyfrekvenciás cső, bár máshol is láttam már ilyen alkalmazásban, amatőrkészülékben. A demodulátor után a 20...30 Hz sávszélességűre leszűkített hangfrekvenciás végerősítő hajtotta meg a coulométereket. A végerősítő cső EL6 volt, feltehetően a kellő áramerősség biztosítására a hidrogéngáz fejlesztéséhez. A visszaemlékezések szerint a vevőoldal építéséhez egy katonai R/7 rádiót is felhasználtak [4].

Különös számomra az egész: szabadonfutó oszcillátorok dolgoztak, egymástól függetlenül, beleértve az adót is. Persze valószínűleg nem volt más lehetőség. De emiatt, igen pontosan kellett ezek rezgésszámát beállítani, stabilizálni, ellenőrizni, ahhoz, hogy ez az egész rendszer „szét ne csússzon", a visszaérkező jelek mindvégig a vevőkészülék vételi sávjában maradjanak. A leírások 1 MHz-es bemenő sávszélességet említenek, ez teljesen reálisnak tűnik. Kevesebbet nemigen lehet létrehozni, többet meg minek, ha nem szükséges. Itt a „szükséges" lényeges szó, nem tudni, hogy az adó frekvenciája mennyit változott az egyes impulzusok, és főleg az egyórányi teszt ideje alatt, különös tekintettel a melegedésre, a tápegységek és a hálózati feszültség esetleges instabilitására. A vevő oszcillátorai feltehetően állandóan futottak a kellő stabilitás miatt. Egyes források 200 kHz-es KF sávszélességet adnak meg, ez is lehetséges, bár az eleve keskeny sávú R/7 rádiót meglehetősen át kellett alakítani ehhez, az 1 MHz-hez meg még inkább! A lényeg: a teszt teljes ideje

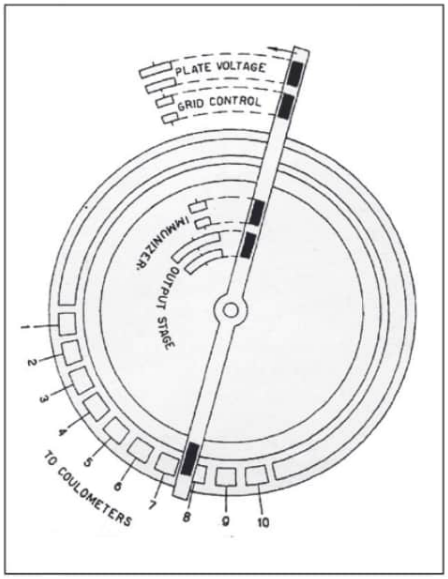


25. kép

alatt a vevőnek „látnia" kellett a saját adóját, úgy vélem, ez volt az egyik, nagy odafigyelést kívánó, sarkalatos pontja a berendezésnek. Ehhez képest a Doppler jelenségből eredő, itt legfeljebb 300 Hz-nyi elcsúszás teljesen elhanyagolható volt. Nagy előnye volt ennek a rendszernek, hogy a 30 Hz-es sávszűkítést a demodulátor után már kényelmesen meg lehetett tenni. Persze ehhez lineárisnak, zavaroktól mentesnek kellett lennie a nagyfrekvenciás résznek. A felépítéssel, frekvenciaválasztással és frekvenciapontossággal kapcsolatosan a fenti, fellelt adatokkal szemben némi fenntartások, kérdések vetődtek fel bennem, további kutatást kíván a részletek kiderítése.

Az egész rendszer kiértékelője, a „kijelző", a coulométer volt. Ennek alapeleme egy ceruza vastagságú üvegcsőből állott, amelyben az elektrolitból (kálium-hidroxid) hidrogéngáz szabadult fel az átfolyó áram hatására, azzal arányos mennyiségben. Ily módon ez egyben az integráló és adattároló funkciót is ellátta (**25. kép**; [11]). Tíz ilyen „fokozatból" állott a készülék, és a visszaérkező jelek várható idejében, idősorrendben kapták a vezérlést. Tehát a csövek sorszáma, vagyis az „X" tengely adta az időpontot, a folyadék felszín magassága, vagyis az „Y", pedig a visszaverődött rádiójelek összegzett értékét. A csak zajt kapott csövekben is fejlődött gáz, ez képezte a rendszer alapszintjét. Rendkívül ötletes megoldásnak tartom. Állítólag ezt nem vitték el a szovjet katonák, talán teljesen értelmetlen, használhatatlan szerkezetet láttak benne.

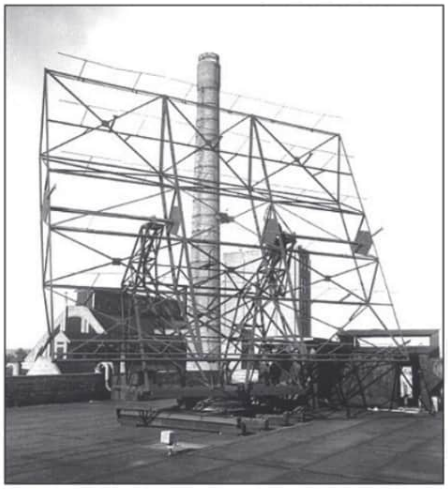
A fent említett részegységeket egy szinkronmotor által meghajtott kapcsolószerkezet (**26. kép**; [12]) vezérelte. Ez volt – ha nem is „mikro-", de – a processzor az egész berendezésben, „órajelének" az erősáramú hálózat 50 Hz-es jele tekinthető. Ezért a kísérlet



26. kép

nagyjából egy órája alatt a hálózati 50 Hz nem térhetett el több mint 0,5 Hz-el a kezdeti értéktől. 1946-ban, a háború után ez nem biztos, hogy teljesült, emiatt szerintem némi szerencse is szükségeltetett a sikerhez. A kapcsolótárcsa a megfelelő időben némította a vevőt, kapcsolta az adó anód- és rácsfeszültségeit, ezzel indította az impulzuskisugárzást. Ezután ellenkező sorrendben leállította az adót és felélesztette a vevőt, majd a visszaérkező jelek várható idejében (kb. a 2. és a 3. s között) a vevő kimenetet sorrendben a coulométer csöveire kapcsolta. Így azokban a kisugárzott impulzust követően mindig azonos időpontban jelent meg a jel, mindig ugyanabban az üvegcsőben keletkezett több gáz.

Tekintettel arra, hogy az 1944-es kísérlet parabolaantennája elveszett, meg a frekvencia is más lett, új antennát kellett építeni. Ez, az előzőtől eltérően egy „dipólfal" lett, 36 db sugárzóval, meglehetősen nagy, 6×8 m körüli mérettel (**27. kép**; [1]). A kapott „BORBÁLA" radarból kialakított szerkezet forgatható, dönthető állványa lehetővé tette a Hold követését. Megjegyzendő, a SAS radarnak is hasonló, dipólokból álló antennája volt. A pontos beállítás vagy közvetlenül, távcsöves módon történt, vagy – felhős időben – a szabadsághegyi Csillagdától kapott adatok alapján „vakon", a tartószerkezetre szerelt beállító skála alapján. A sugárzók feszültségminimum helyen vannak rögzítve, táplálásuk szimmetrikus tápvezetékkel, nagyimpedanciásan történik a **28. kép** ([13]) szerint. Az antenna fényképén a bal felső sarokban kivehető a megcsavart tápvezeték. Az antenna mozgatásakor mindvégig tartani kellett a tápvezeték hullámimpedanciáját. Ennek megoldása nem ismert, talán hajlékony vezetékből készített „tyúklétrát", azaz szimmetrikus „szalagkábelt" használtak fel.

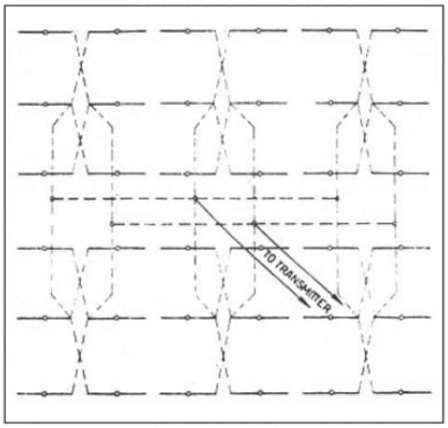


27. kép

Az összeállítás tápegységéről nem találtam leírást. Minden bizonnyal egy hagyományosan felépített tápegység volt, vevőoldalon talán feszültségstabilizáló csövekkel (glimmekkel) az oszcillátorok számára, ezek lila fénye tetszhetett a fent említett újságírónak. Az adóoldali táplálás meglehetősen nagy igénybevételű lehetett az állandó ki-be kapcsolgatások miatt.

A berendezés további sorsa nem ismert, az antenna 1949-ben még állt, később a tartószerkezet anyagáért lebontották. A coulométer ismét „megmenekült", a *Technikai Múzeumban* van. A mérés jegyzőkönyvét *Tary László* őrizte meg [14]. Az eszközök más célra való felhasználásában – talán mondhatjuk: „elherdálásában" – alighanem politikai szándékot is feltételezhetünk.

A nyolcvanas évek végén *Mészáros Sándor,* az Egyesült Izzó nyugalmazott főmérnöke elkészítette a kísérlethez használt antenna kicsinyített modelljét. Bay Zoltán így méltatta a munkát Mészáros Sándorhoz írt levelében: *„... Nagyon igazad van, hogy a Holdantennát kár volt szétszedni pusztán az anyagáért. Történelmi műemlékként szolgálhatott volna annak dokumentálására, hogy a magyar tudomány szeretett mindég élen járni és nem csupán követni más népek fejlődését. De sajnos, abban az időben, amikor én elhagytam szeretett szülőhazámat, az otthoni elnyomó rezsim nem méltányolta és segítette a tudomány és az emberi művelődés előrehaladását. Nagy szolgálatot tettél a tudománytörténetnek, hogy elkészítetted az antenna modelljét. ... Ugyancsak nagy eredmény, hogy összeköttetésbe léptél Tary Lászlóval s együtt megőriztétek és kiállításra vittétek a Holdkísérletek naplóját. ... Egy 1982-ben Budapesten tartott előadásomon még jelen volt Simonyi Károly, Bodó Zalán, Budincsevits Andor és ifj. Bay Zoltán. Ők még élnek, de „pusztulunk, veszünk". Jó, hogy vannak emberek, mint Te is, akik igyekeznek történelmi emlékeket megmenteni. ... Washington, 1988. március 26."* [7]. A makett a **29. képen** ([2]) látható egy kiállítási vitrinben, alatta az e témában íródott könyv [4].



28. kép

Zárszó

Végül ismét egy személyes kitérő. Mint említettem, Simonyi Károly és Barta István tanáraim voltak, utóbbinál még vizsgáztam is. Milyen jó lenne odamenni az előadás szünetében hozzájuk, s rákérdezni: hogy is volt ez, tanár úr? Sajnos, már nem tehetem. Mészáros Sándort is megkérdezném, mi inspirálta az antennamodell

29. kép

elkészítésére? Ezt sem tehetem. Idézet Wlassits Nándor hivatkozott könyvéből: *„Jövőnk reményteljesebb lehet, ha tudunk meríteni a múlt eredményeiből; ezért poroltuk le a feledést a magyar technikatörténeti sikerről.”*. Nos, ebben tudnánk igazán további példát mutatni az elmúlt évtizedekben elért eredményeink bemutatásával.

Referenciák:

1. http://wwwold.bayzoltan.hu/oldal/70-evvel-ezelott-latott-napvilagot-a-magyar-holdradar-kiserlet (Bay-kép, antenna).
2. Saját felvételek. Simonyi emlékkiállítás, BME. (Simonyi, Jáky képek, tömbvázlat, jkv, karikatúra, Bay szobor, antennamakett, oszcillátorcső).
3. vik.bme.hu/files/00003782.pdf (Barta-kép)
4. Wlassits Nándor: A magyar radar 1943-1946, Typografika Kft. kiadó, Gyula, 2011. (Tömbvázlat, műszaki adatok).
5. https://www.elektro-net.hu/uzlet/6950-hetven-eves-bay-zoltan-hold-radar-ki-serlete (idézet Bay Z-tól).
6. EPA03054_meteor_2016_02_024-027pdf. (laborépület, adócső).
7. Nagy Ferenc: Bay Zoltán pályája és példája, Better-OMIKK-Püski kiadás, 1993. 70. old. (Jegyzőkönyv, Bay levél).
8. A TUNGSRAM márka története, 14. rész. CD, Tungsram_Surguta.pdf, Mészáros Sándor kiadása. (Újságképek).
9. Staar Gyula: Megszállottak, öt magyar fizikus. Tipotex kiadó, 1991. (Bay-idézet).
10. Rádióévkönyv az 1947. évre, Hungária kiadó. Dr Pócza Jenő: Rövidhullámú rádiójelek visszaverődése a Holdról. (Képek a Holdradar-készülékről.)
11. Ilonka Mária: A Holdig pislákoló fény, Novella kiadó 2006. (Dolgozók Világlapja kép, coulométer).
12. http://astro.u-szeged.hu/szakdolg/pribuszk/magyar/holdradar.html (időzítő szerkezet).
13. Híradástechnika 1986/10. (Antenna elvi kép).
14. Emlékülés Bay Zoltán fizikus születésének 100. évfordulója tiszteletére. Előadás kivonat, 2000. júl. 24. (Adatok).

1% Segítsen Ön is!

Reményi István Rádióamatőr Alapítvány

18226429-1-43

Az alapítványt támogatja a

RÁDIÓTECHNIKA Elektronika FÜZETEK

MOTOROLA Talkabout T82 Extreme Quad

munkához – oktatáshoz – hobbihoz – kiránduláshoz – sporthoz

Engedély- és díjmentesen használható!

- 4 db PMR adó-vevő
- 4 db akku, töltő
- 4 db headset
- Ütésálló műanyag hordtáska
+ 2 db

csak 54.990 Ft

- CTCSS + DCS kódok
- VOX üzemmód
- Dual scan üzem
- Csoport mód
- Hívóhangok
- Vibra hívásjelzés

Most 2 db DMM is jár hozzá! – Csak amíg a készlet tart!

HAM-bazár 1138 Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em., folyosóközép H–P. 09–14 ó., Cs. 09-17 ó.
(+36 1) 239-4932/36 m. 239-4933/36 m. 1550 Budapest, Pf. 123.
www.radiotechnika.hu www.radiovilag.hu hambazar@radiovilag.hu 7

Közelségi gyújtók a II. világháborúban

Dr. Kövesdi István okl. fizikus,
HM ARZENÁL Elektromechanikai Zrt.
Fegyvergyártási Divízió

A közelségi gyújtó egyike volt a szövetségesek II. világháború alatti fontos technológiai fejlesztéseinek. Titkát hasonló szinten őrizték, mint az atombombáét vagy a Lorentz és Enigma kódok feltöréséét. A tüzérségi lövedékekben a gyújtórendszer biztosítja a lőszerek biztonságát a kilövés előtt és alatt, ez a cső előtti és csőben levő biztonság. Az indítást követően a gyújtórendszer élesíti a lövedéket, majd meghatározott pozícióban felrobbantja azt.

A tehetetlenségi, csapódó gyújtók a célponttal való érintkezés után inicializálják, esetleg kissé késleltetve, a robbanást. A mechanikailag időzíthető gyújtók óraszerkezete a kilövést követően előre beállított időtartam elteltével működtetik a detonátort, általában még a lövedék röppályáján. A közelségi gyújtós lövedéknek nem kell közvetlenül eltalálnia a célt, elég csupán a cél közelébe jutnia. Ekkor a gyújtó valamilyen fizikai kölcsönhatás révén érzékeli a célt, és a leküzdéséhez optimális távolságban robbantja a lövedék repeszromboló hatású töltetét. A közelségi gyújtók aknákban, bombákban, rakétákban és tüzérségi lövedékekben is alkalmazhatók.

A tehetetlenségi és mechanikai időzítésű gyújtók mind az I., mind a II. világháborúban gyenge hatásfokúnak bizonyultak a gyorsan mozgó és gyakran nagyobb távolságban manőverező repülőgépek ellen. A közvetlen találatok valószínűsége kicsi volt, és az időzített lövedékeknek a repülőgép legalább 30…50 m-es közelségében kellett robbanniuk, hogy kellőképpen roncsolják azt. Az időzítést ezért tizedmásodperces pontossággal kellett beállítani a repülőgép gyorsan változó helyzetének, sebessége nagyságának és irányának megfelelően, eközben kellőképpen figyelembe véve a lövedék pályáját meghatározó egyéb körülményeket, úgymint az ágyú és lőszer típusát, a légkör hőmérsékletét, nyomását, a szél irányát és sebességét, a lőpor hőmérsékletét, a cső hőmérsékletét stb. Ez persze általában csak közelítőleg sikerült. A megoldás az volt, hogy ezerszámra kellett kilőni a többékevésbé helyes irányba a lövedékeket az időzítés bizonyos szórásával, hogy elfogadható valószínűséggel találatot érjenek el.

A közelségi gyújtók ezt a helyzetet alaposan megváltoztatták a légvédelem javára. A cikkben az USA-ban a II. világháború alatt a tüzérségi lövedékek, elsősorban légvédelmi lövedékek számára kifejlesztett közelségi rádiógyújtókkal foglalkozom részletesebben. Ezek a közelségi gyújtók az URH-rádiósávban működtek. A rádióhullámokat használó különböző típusú közelségi gyújtókból legalább 22 millió darabot gyártottak Észak-Amerikában a háború alatt, és a szövetségesek ebből legalább 19 millió, lövedékbe szerelt példányt lőttek ki ártó szándékkal az ellenség irányába. Több mint 300 000 közelségi gyújtót pedig a fejlesztés során lövöldöztek el. A közelségi gyújtóval szerelt lövedékek kiemelkedően hatékonynak bizonyultak különféle harctereken és eltérő harci körülmények között is. Az amerikai közelségi gyújtók szigorú haditoknak minősültek. Sok minden egyéb intézkedés mellett a megjelölésükben kerülték a „közelségi" (proximity) jellegre utalást és szándékosan félrevezető, a mechanikus időzítésre utaló *VT* (*V*ariable *T*ime) típusjelzőt használták.

Az 1940-es blitz alatt az angol légvédelem átlagosan kb. 20 000 lövedéket használt el egy-egy német bombázó repülőgép lelövéséhez. A háború folytatásában a német légvédelem ennél hatékonyabbnak bizonyult. A légvédelemben használt amerikai VT gyújtók hatékonyságát ezért a II. világháború kiváló német légvédelmi tüzérségének lövedék/repülőgép adataival összehasonlításban mutatom be. A következő **táblázat** azt mutatja, hogy a Wehrmacht feljegyzései szerint átlagosan hány mechanikai időzítésű gyújtóval szerelt légvédelmi lövedéket pazaroltak el egy-egy szövetséges repülőgép lelövéséhez.

A FlaK ütegek irányítását végző Kommanadogerät 40 típusú analóg lőelemképző számítógép egy 4 m alaphosszúságú optikai távolságmérővel és gyakran egy Würzburg radarral is össze volt kapcsolva. A német lőelemképző készülék fejlesztésének műszaki alapját a GAMMA-JUHÁSZ (1934) féle magyar gyártmányú készü-

Löveg Flugabwehrkanone	Lövedék db	Szükséges lőpor és robbanótöltet össztömege t
88 mm FlaK 36/37	16 000	62,4
88 mm FlaK 41	8500	51
105 mm FlaK 38/39	6000	45
128 mm FlaK 40	4200	58

Táblázat

lék adta, amit a Hassler AG licensszel együtt 1935-ben megvásárolt és továbbfejlesztett. Németországban előbb a Kommänadogerät 36-os, majd a 40-es készült el a licensz alapján. A Dübendorfi repülésügyi múzeumban látható az eredeti magyar készülék a tervrajzaival és a továbbfejlesztett svájci és német berendezésekkel együtt. A Kommandogerät 40 lőelemképző rendszer a csövek emelkedési és oldalszögét elektromosan továbbította a FlaK lövegekhez és a lövedékek mechanikai időzítő gyújtóit automatikusan állította be a célzott repülőgép várható és a lövedék számított pályájának megfelelően. Látható, hogy a maga korában csúcstechnikás tűzvezetés mellett is ezerszámra kellett a lőszer egy-egy repülőgép lelövéséhez.

Az Atlanti Óceáni hadszíntéren a Mariana-szigeteki filippínó tengeri csatában az amerikai hajók 5″ kaliberű légvédelmi ágyúinak viszont átlagosan 250 VT gyújtóval szerelt lőszer elég volt egy-egy japán zuhanóbombázó vagy torpedóvető repülőgép lelövéséhez. Az elsöprő amerikai győzelemmel záruló ütközetben a radaralapú célazonosítással és rávezetéssel irányított amerikai repülőgépek és a VT gyújtós lövedékekkel is tüzelő, szintén radart és lőelemképző analóg számítógépeket használó hajó légvédelemi tüzérség összesen kb. 600 (550 és 645 között) japán repülőgéppel végzett, közülük kb. 500-at a légvédelem lőtt le. Ezeknek a légvédelmi találatoknak 50%-át tulajdonították a VT gyújtós lövedékeknek, melyek csupán a felhasznált lőszerek 25%-át tették ki. Az amerikai 5″-es légvédelmi ágyúk és tűzvezető rendszerüknek hatékonysága VT gyújtós lövedékek esetén sokszorosa volt a hasonló 105 mm kaliberű német FlaK 38/39 ágyúk és tűzvezetésük hatékonyságának, legalábbis a darabszámmal jellemzett lelőtt gép/lövedék összehasonlításában. Az ilyen egyszerűsített összevetések általában pontatlanok, de jelezhetik a valóságot. A pontosabb értékeléshez sok minden mást is figyelembe kellene venni, például, hogy a magasan repülő, helyenként páncélozott amerikai és angol bombázógépek ütésállóbbak voltak, mint a kis magasságokban támadó könnyebb szerkezetű japán tengerészeti gépek. Az érem másik oldalán pedig az szerepel, hogy a japán pilóták, hamar megtapasztalván a hatékony amerikai légvédelmet, a céljaikat gyakran vadul manőverezve közelítették meg. A bombázók repülésirány- és magasságváltoztatási manővereket is végeztek a FlaK ütegek előrejelzéseinek összezavarására, de az elkeseredett gyors manőverezés nem volt jellemző a nehézbombázók célra repülésénél.

A kezdetek

A közelségi gyújtók kifejlesztése, sok más technológiai fejlesztéshez hasonlóan, a szabadalmakkal kezdődött. A feltalálók fantáziáját megmozgatták a tüzérek elképzelései az ideális lövedékről és a papíron felvázolt innovatív megoldásaikat kevésbé korlátozták a megvalósítások várható technikai nehézségei. Az 1930-as évektől kezdve angol, német, svéd és amerikai szabadalmak mutattak rá a lövedékek, bombák és aknák közelségi gyújtásának lehetőségére és hasznosságára a hagyományos gyújtómegoldásokkal szemben. A találmányok a céltárgy érzékelésére többféle fizikai kölcsönhatáson alapuló megvalósításokat javasoltak. Az ötletek között voltak magneto- vagy elektrosztatikus, hanggal, fénnyel, infravörös fénnyel, rádióhullámokkal vagy nyomásváltozással működtetett közelségi gyújtó megoldások. Ebben a cikkben elsősorban a II. világháború alatt az egyetlen nagyobb sorozatban gyártott, rádióoszcillátort használó, a harctéri körülmények között is jól bevált közelségi gyújtó amerikai kifejlesztésével, felépítésével foglalkozom és csak röviden térek ki az angol és német kortárs eredményekre a hasonló vagy más elven működő közelségi gyújtók fejlesztési eredményeire.

Kezdetek – Anglia

Angliában már az 1936-1937-es évben kísérleteztek fotoelektromos és akusztikus közelségi gyújtókkal, melyeket bombára szerelve az akkor még szolgálatban levő lassú kétfedelű vadászgépek felülről dobták volna az új típusú és gyors monoplán bombázógépek kötelékére. A közelségi gyújtóval szerelt bombáknak elegendő lett volna a bombázógépek 100 m közelségébe zuhanni, hogy robbanásuk repeszeivel nagy kárt okozzanak. A kutatások és kísérletek intenzíven haladtak, és a britek 1940-re többféle viszonylag jól működő közelségi gyújtó megoldással rendelkeztek rakéták és bombák részére kifejlesztve. Ezeknél nem volt szükség extrém fizikai behatásoknak ellenálló elektronikai eszközökre. Rádiófrekvenciás közelségi gyújtó áramköröket is vizsgáltak: a földön elhelyezett kísérleti példányok megbízhatóan kapcsoltak a tőlük 10…20 m távolságban elhaladó repülőgépek hatására. *Winston Churchill* is nyomon követte a közelségi gyújtókkal kapcsolatos eredményeket és néha személyesen is közbelépett, a szavai szerint „varázslók háborújában” használatos eszközök fejlesztésének gyorsítása érdekében. Az angol kutatók a fotoelektromos gyújtók működő példányain kívül sikeresen eljutottak rádiófrekvenciás közelségi gyújtók rakétákba szerelhető prototípusának megépítéséig és sikeres kipróbálásáig is. Azonban a háború miatt már nem volt elég erőforrásuk a rádióoszcillátoros gyújtók tökéletesítésére és pláne nem a tömeggyártásuk gyors beindítására. Úgyhogy a közelségi gyújtók terén elért eredményeket, több fontos elektronikai és haditechnikai kutatás eredményeivel együtt a *Henry Tizard* vezette küldöttség átadta az Egyesült Államoknak. A huzagoltcsövű ágyúból való kilövést követően is működőképes rádióoszcillátoros közelségi gyújtó kifejlesztése és olcsó tömeges gyártása tehát az amerikai tudósokra, mérnökökre és munkásokra maradt.

Kezdetek – Németország és Japán

A II. világháború előtt Németországban is végeztek kísérleteket a közelségi gyújtók fejlesztésére. Voltak közöttük akusztikus, elektro- és magnetosztatikus, valamint rádióhullámokkal működő eszközök is. 1939-ben a brit hírszerzés az „Oslo” levélből, több német katonai elektronikai eszközről szerzett tudomást, ezek között szerepelt egy elektrosztatikus elven működő közelségi gyújtó részletes leírása is. A német közelségi gyújtók közül csak keveset tudtak a gyakorlatban is bevethető eszközzé fejleszteni a háború során. Ennek egyik oka az volt, hogy Hitler 1940-es utasításának megfelelően kevés kivétellel minden olyan kutatást meg kellett szüntetni, melynek eredményét várhatóan nem lehetett fél éven belül sorozatgyártásba állítani. Sok egyéb kutatással együtt, mint például az atombomba vagy a magnetron és a mikrohullámú radar fejlesztése, a közelségi gyújtó kutatására szánt erőforrások zömét is a Barbarossa támadás közvetlen előkészítésére csoportosították.

Említésre méltó ekkortájt a német tengeri aknákba szerelt fejlett mágneses közelségi gyújtó, amely működésének megfejtése és hatástalanítása sok gondot okozott a brit admiralitásnak. 1941-től azonban felgyorsultak a rakétakutatások és ezzel párhuzamosan a közelségi gyújtókkal kapcsolatos kísérletek is folytatódtak. A V-2 (A4) föld-föld rakéta negyedméretű mását (*Wasserfall*) már 1941-től légvédelmi rakétának tervezték. Göring 1942-ben négyfajta föld-levegő rakétatípus fejlesztésére adott engedélyt: irányítatlan típusokra (*Taifun, Wirbelsturm*), célkereső irányított rakétára (*Enzian*), rádióval irányított rakétákra (*Rheintochter, X-4* és *Schmetterling*) és radarirányítású rakétára (*Wasserfall*). A 30-asával vagy 50-esével indított *Taifun* és *Wirbelsturm* irányítatlan rakéták csapódó gyújtóval voltak felszerelve. A többi irányított vagy célkövető típus mindegyikét valamilyen közelségi gyújtóval kívánták felszerelni. A közelségigyújtó-kutatások között akusztikus megoldásokkal is kísérleteztek. Ezen a téren a legsikeresebb volt a Rheinmetall-Borsig cég Kranich (Daru) elnevezésű gyújtója, amelynek érzékelője egy 140…500 Hz közötti frekvenciasávra érzékeny membránt és egy ahhoz kapcsolt rezonáns Reed kapcsolót tartalmazott. A megközelített bombázó repülőgép hajtómű hangjának 200…300 Hz közötti komponensére és annak Doppler eltolódására a membrán rezonálni kezdett, amit a Reed kapcsoló érzékelt és zárta a gyújtást indító áramkört. A megoldás működött, és a repülőgépektől kb. 7…10 m távolságban aktivizálódó Kranich gyújtót tervezték alkalmazni a *Schmetterling, X-4*, *Rheintochter* és *Enzian* légvédelmi rakétákban.

A rakétákban nem volt szükség extrém gyorsulásokat vagy gyors pörgést elviselő elektronikai alkatrészekre, ezért sikeres német próbálkozások voltak kapacitív vagy rádiófrekvenciás közelségi gyújtók építésére is a rakéták számára. A háború vége felé kapacitív elven működő, egyszerű kapcsolású, olcsó közelségi gyújtó fejlesztését is elkezdték a 88 mm-es ágyúk légvédelmi lövedékei számára. Ebben a megoldásban nem voltak elektroncsövek, kibírta a kilövést. A gyújtót tartalmazó 88-as lövedékek 95% biztonsággal érzékelték egy 10…15 m távolságban levő fémkábel közelségét és a német kapacitív gyújtó jóval ellenálóbb volt az elektronikai zavarásra, mint a rádiófrekvenciás amerikai VT gyújtó. A németek már az új gyújtó sorozatgyártásának előkészítésén dolgoztak, amikor Európában a háború véget ért, és az addig legyártott föld-levegő és levegő-levegő rakétákat, valamint az új közelségi gyújtójukat már nem tudták bevetni.

A különböző típusú légvédelmi rakétákat és a prototípusaikat, általában tervezőikkel együtt, a szövetséges hatalmak elszállították Németországból. Ezeknek a rakétáknak egy-egy példánya mai napig is látható a világ több repüléstörténeti vagy haditechnikai múzeumában. Szerkezetük, rádióvezérlésük, érzékelőik és radarjaik pedig számos amerikai, szovjet, angol és francia rakétafejlesztés kiinduló mintáiként szolgáltak. Németországhoz hasonlóan Japán is foglalkozott a közelségi gyújtók fejlesztésével, de a háború végéig sem jutott el hatékony közelségi gyújtók sorozatgyártásig. Egy japán bombába szerelt közelségi gyújtó harctéri alkalmazására is csak egyetlen alkalommal került sor.

Tizard misszió

„Soha nem érkezett még ennyire értékes rakomány az amerikai partokra" írta később egy amerikai történész a Tizard-küldöttség által szállított angol hadititkokról. 1940 szeptemberében Anglia átadta Amerikának, többek között, egy magnetron prototípusát és a vele készíthető kisméretű, nagyfelbontású mikrohullámú radar terveit, egy rádióoszcillátoros és egy fotoelektromos elvű közelségi gyújtó példányait, az atombomba megvalósíthatóságának tanulmányát, egy fejlett sugárhajtómű terveit, a lövedéktalálatra önzáródó repülőgép-üzemanyagtartály ötletét, a plasztik robbanóanyagok leírását, kézi VHF katonai adóvevő példányait és a tengeralattjáró-detektálás hatékony szonár technológiájának adatait. A misszió célja az volt, hogy az akkor még semleges Egyesült Államokat elkötelezze Anglia ügye mellett.

Ráadásul az említett találmányok továbbfejlesztésére az időközben a levegőben is élet-halál harcát vívó Angliának addigra kevés erőforrása és ideje maradt. A briteknek akkor olyan alapvető dolgokra volt elsősorban és azonnal szüksége, mint például a jó minőségű amerikai repülőbenzin. 1940 júliusától ugyanis már javában zajlott az angliai légi csata és a 87 oktános angol repülőbenzinnel hajtott Hurricane és Spitfire vadászgépek repülési paraméterei és eredményességük alaposan megjavultak az angliai csata közben az USA által szállított 100-as oktánszámú repülőbenzin tankolásával. Az amerikai benzinre módosított karburátoros és turbófeltöltős Rolls-Royce Merlin hajtóművel szerelt angol gépek vízszintes repülési csúcssebessége, magasságtól függően kb. 20…30 km/h-val megnőtt, így már csupán 30 km/h-val maradt el a benzinbefecskendezős hajtóművű Bf-109-es vadászokétól.

Bár a Tizard-misszionak nem volt köze hozzá, a német fejlesztésű szintetikus szulfonamid antibiotikumoknál sokszorta hatásosabb penicillin is Angliából került át később az államokba, ahol a D-napi partraszállás előtt már nagy mennyiségben tudták gyártani. A szigetországba visszaérkezése után Henry Tizard első feladatai között szerepelt, hogy rendezze 5 fontnyi fogadás-tartozását. Egy barátja ellenében ugyanis arra fogadott, hogy mire a küldetése véget ér az államokban, addigra Anglia elveszíti a háborút…

Kezdetek – USA

Az angolok azonban kitartottak, az amerikaiak pedig 1940-ben feltűrték az ingujjukat és ipari világhatalomhoz méltó lendülettel és szisztematikus alapossággal nekiláttak a hadiipari fejlesztések felpörgetésének, köztük a közelségi gyújtók különböző fajtái tökéletesítésének. A fejlesztések során jó hatásfokkal ötvözték a tudományos kutatások eredményeit a bevált mérnöki szakértelemmel és a katonai tapasztalatokkal. A kutatásban résztvevő egyik szakember szerint *„A cél világos volt. Ha segítség kellet – megkaptad, ha felszerelés kellett – megkaptad. Nem voltak kérdések. Nem kellett tökéleteset alkotni, csak az elvárt mértékben működőt. Azt viszont gyorsan"*
A hadseregre osztották a közelségi gyújtók fejlesztésének irányítását a rakéták, bombák és a nem forgásstabilizált lövedékek számára, a haditengerészet pedig a huzagolt csőből kilőtt tüzérségi lövedékekben is működőképes közelségi gyújtók fejlesztésének összefogását kapta. A kutatásokkal egyidőben zajlottak a közelségi gyújtó mintapéldányainak kísérleti próbái, és a típusokat azonnal módosították az eredményeknek megfelelően. A fejlesztések céljai és a sürgető határidők egyértelműek voltak és a szükséges anyagi és emberi erőforrások

is az amerikaiak rendelkezésére álltak. Volt olyan időszak, amikor az USA-ban dolgozó tudósok és kutató mérnökök 3%-a a közelségi gyújtók fejlesztésével és tökéletesítésével volt megbízva. Ezek a ráfordítások bőven összemérhetők voltak a párhuzamosan zajló Manhattan-Project igényeivel! A kutatók biztatására ráadásul közölték, hogy minden hónapnyi eltelt idő a közelségi gyújtók hadrendbe állításáig egy-egy cirkáló elvesztésével ér fel a teljes legénységével együtt, úgyhogy siessenek. A szemléletes hasonlatot az inspirálhatta, hogy a zuhanóbombázó és torpedóvető haditengerészeti repülőgépek hatékonysága a háború elejére már nyomasztó mértékűvé vált a hagyományos és méregdrága csatahajók és cirkálók ellen. Ugyanis a hajók nem engedhették meg maguknak, hogy a támadó repülőgépekre tízezerszám lövöldözzék ki a légvédelmi lövedékeket. Erre ugyanis nem volt elég tárolóhely, légvédelmi ágyú, személyzet és biztonságos lőszerlogisztika a hajókon, pláne nem a kisebb korvettek és rombolók fedélzetén.

1940-től kezdve a világháború során az amerikaiak többféle elven működő közelségi gyújtó megoldást vizsgáltak meg alaposan és egy időben. Ezek közül, egy kivételével, 1943-ban mind a polcra kerültek, mert nem bizonyultak a gyakorlatban is alkalmazhatónak a kor technikai színvonalán. A legfontosabb vizsgálati irányok az akusztikus, nyomásalapú, optikai, elektrosztatikus és rádióhullámokat használó gyújtók voltak. A rakétákra szerelt akusztikus gyújtók esetében kiderült, hogy a rakéta saját hajtóművének zaja és a rakétatest menetzaja összemérhetőnek bizonyult a céltárgy hajtóművének zajával és ez bizonytalanná tette a gyújtást. Ráadásul a nagysebességű repülőgépek és a szintén nagysebességű rakéták esetében a korlátozott hangsebesség bonyolította a gyújtó hatásos működését. Az akusztikus megoldást elvetették. A bombákra tervezett nyomásalapú megoldásnál az indulás előtt a gyújtón rögzíteni kellett a célterület ismert tengerszint feletti magaságát. Ezt követően a bomba gyújtójába szerelt nyomásmérő repülés közben folyamatosan mérte a légköri nyomást, majd a bomba kioldásakor a nyomásértéknek megfelelően beállított egy mechanikai időzítőt, amely a cél feletti kellő magasságban robbantotta a bombát. Azonban a célterület felett levő légköri nyomásviszonyok általában nem kellő ismerete túl bizonytalanná tette az időzítést, ezért ezt a megoldást is elvetették.

Az amerikai kutatók az angoloktól egy optika közelségi gyújtó prototípusát is megkapták. Az eszköz, nappali egyenletes fényviszonyok között viszonylag pontosan és jól működött. Éjszaka azonban nem volt használható és a felhők közül kibukkanó napsugarak is könnyen aktiválták a gyújtást. Az optikai közelségi gyújtó is az elvetett ötletek polcára került. Az infravörös sugarakon alapuló optikai megoldások még hamarabb kiszelektálódtak, mert az akkori IR-detektorok túl lassúak, nagyméretűek és érzéketlenek voltak a gyújtókban való alkalmazásokhoz. Jelentős erőforrásokat fordítottak a repülőgépek elleni elektrosztatikus közelségi gyújtó kutatására is. Ez a gyújtó a repülőgépen és/vagy a lövedéken felhalmozódott sztatikus töltéseken, illetve a lövedéken levő töltések eloszlásának érzékelésén alapult. Ez az érzékeny módszer azonban használhatatlannak bizonyult, mert a sztatikus töltéseknek a repülő testeken az időjárás által nagyban befolyásolt mértékben és polaritással alakulnak ki. Így az elektrosztatikus gyújtó is hamar megtalálta helyét a félretett kutatások között.

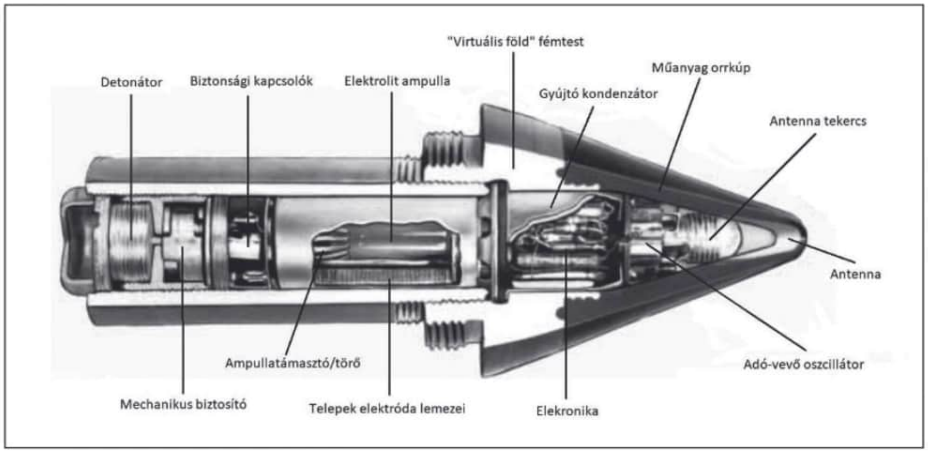
1943 októberétől az USA-ban a közelségi gyújtó kutatásokat a kizárólag a rádióhullámokat használó oszcillátoros megoldásokra fókuszálták a kedvező kísérleti eredmények miatt. A rádióhullámokat használó gyújtóknak két fontos előnye volt a többi megoldással szemben. Először is napszaktól és időjárási körülményektől függetlenül használhatók voltak. Másodszor pedig minden olyan cél ellen alkalmazhatók, amely visszaveri a rádióhullámokat. Ez a második tulajdonság egyben azt is jelenti, hogy a rádióoszcillátoros közelségi gyújtók a földi, a vízi és a légi célok ellen is használhatók. A *Nemzeti Szabadalmi Hivatal* (National Bureau of Standards) rakéták, bombák és nem forgó tüzérségi lövedékek számára fejlesztett ki és gyártatott rádiófrekvenciás közelségi gyújtókat. Az első kifejlesztett típust (T5) levegő-levegő rakéták számára készítették, ennek módosított változatát (T6) pedig föld-föld rakétákba szerelték. Ezeket a korai típusokat még szárazelem áramforrásokkal látták el. A szárazelemek azonban fél éven belül cserére szorultak a muníciókban, ezért a továbbiakban a rakéták és a bombák részére a menetszél által hajtott légcsavarral és miniatűr generátorral oldották meg az áramellátást. A *Johns Hopkins Egyetem Alkalmazott Fizikai Laboratóriuma* (APL, Applied Physics Laboratory) pedig a huzagoltcsövű lövegekből kilőhető lövedékek számára fejlesztett rádióoszcillátoros *VT* jelű közelségi gyújtókat. A háború során ezekből gyártották a legtöbbet, és ezen típusok voltak a leggyakrabban élesen bevetve.

Fejlesztés

A VT gyújtók fejlesztése során meg kellett oldani, hogy az elektronikai alkatrészek és a szerelésük elviselje a lövedékre ható, az ágyúcsőben fellépő legalább 20 000 g gyorsulást és a kb. 400. fordulat/s pörgést. Ez elsősorban a konstrukciójuknál fogva törékenyebb üvegbúrás vákuum elektroncsövek esetében volt rendkívüli feladat. Az áramkörök tápellátására el kellett készíteni olyan teljesítményveszteség nélkül évekig is tárolható áramforrást, amely 0,2 s-on belül maximális teljesítményen üzemképes és többféle feszültséget szolgáltat. Ki kellett fejleszteni olyan miniatűr biztonsági elektromos kapcsolókat, melyek megakadályozzák a lövedék idő előtti felrobbanását. Meg kellett találni azokat a műanyagokat, melyek elég szilárdak és hőállók, emellett átlátszók az URH rádióhullámok szempontjából, valamint úgy kellett alakítani a gyújtó fémtestét, hogy az antennaként sugárzó gyújtó sugárzási karakterisztikája megfeleljen a lövedékek tipikus fragmentálódási profiljának. Nem utolsó sorban pedig olyan csöves oszcillátor, adó-vevő, erősítő, erősítésszabályozó és gyújtó kapcsolást kellett kialakítani, amely egyszerű, kevés alkatrészből áll és kis méretben, robosztus módon szerelhető. A kapcsolásnak megbízhatóan kellett működnie különböző típusú légi, földi és vízi célpontok esetén is.

Miniatűr elektroncsövek

A *Raytheon* cég 1937-től gyártott szubminiatűr elektroncsöveket az USA-ban gyermektenyér méretű hallássegítő készülékek számára, amely készülékekből az eladások felfutása után évente több mint 300 000 db-ot forgalmaztak. A készülékekben levő ceruzavastagságú, kb. 40 mm hosszúságú elektroncsövek hajlékony



1. ábra

kivezetéssel voltak ellátva (ún. „drótlábú" csövek), kis tápfeszültséggel és kis fogyasztással működtek. 1940-ben a *Nemzeti Védelmi Tudományos Tanács* (National Defense Research Committee, NDRC) megbízásából a Raytheon cég a katonasággal együttműködve elkezdte a kutatásokat, melynek során függőlegesen irányított lövegekből próbalövedékekbe szerelt szubminiatűr elektroncsöveket is kilőttek. A kilövést követően a lövegek környékéről összegyűjtött elektroncsöveket vagy roncsaikat visszaszállították a Raytheon mérnökeinek, akik a csövek meghibásodásainak okait analizálva egy-két héten belül módosítottak a csőkonstrukciókon, legyártották és szállítottak a tüzéreknek az új, ellenálóbb elektroncsövekből, típusonként néhány tucatnyit. A néhány hónapig tartó kísérletsorozatban több tízezer darab elektroncsövet próbáltak ki. A legnehezebb feladat volt a törékeny wolfrám izzószálak megvédése a gyorsulás hatásától. A kutatók végül kidolgoztak egy egércsapdához hasonló rugós szerkezetet a szál rögzítésére. A szerkezet kilövés közben „húzódott" fel, majd véglegesen helyre kattant. A rugó elnyelte a fellépő erőhatások jelentős részét és a wolfrámszál így ép maradt.

A fejlesztés végeredménye felülmúlta a várakozásokat. Hamar elkezdődött a kilövést elviselő robusztusan kialakított miniatűr diódák, triódák, pentódák és tirátron gyújtócsövek nagy volumenű sorozatgyártása, amely rendkívül alacsony selejtszázalék mellett zajlott a Raytheonnál és több más, elektroncsöveket is gyártó cégnél. A VT gyújtókon kívül a szubminiatűr, robosztus elektroncsövek számos rakétaelektronikában és egyéb katonai készülékben nyertek alkalmazást egészen az 1960-as évekig, majd a félvezető eszközök fokozatosan kiszorították azokat a legtöbb területről. Ahol a kisfogyasztású miniatűr vákuumcsövek még jelenleg is versenyképesek, azok a felhasználási területek, ahol az eszköznek magas hőmérsékletet kell elviselnie vagy intenzív radioaktív sugárzásban is megbízhatóan kell működnie, esetleg erős EMP impulzust is túl kell élnie. A tirátron viszont nem jól bírja a radioaktív sugárzást, mert a gáztöltése ionizálódik és korán, vagy indokolatlanul begyújt.

Az elektroncsövek akár -200 °C-tól 1000 °C-ig is működőképesek maradnak, ezért valószínűleg ott vannak a Vénusz-szondák elektronikáiban, melyeknek a Vénusz 600 °C-os légkörében is funkcionálnak, vagy a több száz fokos hőingadozásnak kitett, kozmikus sugárzásban fürdő távközlési műholdak mikrohullámú erősítőiben teszik a dolgukat.

Az **1. ábrán** egy tipikus felépítésű VT közelségi gyújtó (Mk 53; 1944) metszetképe látható.

Áramforrás

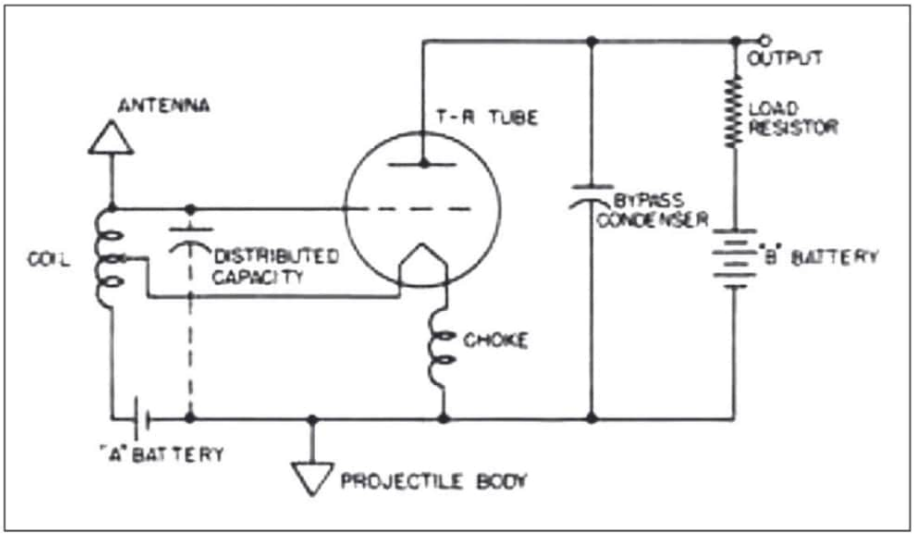
A VT gyújtóban alkalmazott áramforrások évekig tárolhatók voltak minőségromlás nélkül. Elviselték az extrém lineáris gyorsulást és végső soron ez a gyorsulás aktivizálta az áramforrást. Kibírták a lövedék pörgését, sőt, ez a pörgés biztosította a folyamatos működésüket rövid, maximum két perces élettartamuk alatt. Az áramforrások Leclanché telepeinek elektródái egyik oldalukon szénnel borított, egymástól két-két műanyag távtartó gyűrűvel elszeparált cinklemezek voltak. A különböző típusú gyújtók méretei szerint kialakított és párhuzamosan elhelyezett lemezek megfelelő sorba kapcsolásával jöttek létre a kívánt kimenőfeszültségek, miután a kilövés gyorsulása miatt összetört üvegampullából kiömlő elektrolit oldat a lövedék pörgésének centrifugális hatására belehatolt a párhuzamos, gyűrű alakú elektródalemezek közti résekbe. A folyadék gyors és egyenletes eloszlását a cinklemezeken kiképzett furatok segítették elő. Egyes típusokban, főleg a rakétákba szereltekben, ahol az indulási gyorsulás egyébként nem volt elegendő a kapszula töréséhez, centrifugális mechanika által felszabadított törőlándzsa zúzta szét az ampullát.

Az áramforrás +1,5 V-os kimenetéről (*A*) történt az elektroncsövek fűtőszálainak izzítása. A telep -7,5 V-os feszültsége (*C*) biztosította egy tirátron cső rácsának negatív előfeszítését és +97,5 V-os kimenete (*B*) szolgáltatta az elektroncsövek anódfeszültségét. A hivatkozott telepegységeket – amelyekből különböző kapacitású változatok készültek – majd később, a kapcsolási rajzokon találjuk meg.

A VT gyújtó kíméletes kezelés igényelt, mert akár 1 m magasságból egy fémpadlóra ejtve elrepedhetett az elektrolitot tartalmazó ampullája. Ilyenkor a telepek aktivizálódtak, de a biztonsági kapcsolók megakadályozták a gyújtó élesedését. Ha a harc közbeni kapkodáskor a lövedéket leejtették, vagy odaütötték valamihez és az ampulla véletlenül mégis megrepedt, akkor a lövedék még harminc percig használható volt, vagyis kilövés után a megfelelő módon élesedett és funkcionált.

Elektronika

A bevált elektronika összesen 4 elektroncsövet, 11 ellenállást, 8 kondenzátort, 2 tekercset és 1 tirátron gyújtócsövet tartalmazott. A rádióoszcillátor alkatrészeinek kivételével az alkatrészek egymással és a gyújtó hossztengelyével párhuzamosan, a telep fölött a gyújtó kúpjának alsó részén, hengeres elrendezésben voltak egy talpkorongra szerelve. A korong furatain át fűzött alkatrészkivezetéseket kézi forrasztással kapcsolták össze és rögzítették. Az elektronikát egy speciális, fazékhoz hasonló alakú vékonyfalú gyújtókondenzátor vette körül. Ez a kondenzátor tárolta az elektromos gyutacs inicializálásához szükséges elektromos töltést. A kondenzátor szükséges kapacitását vinil-karbazollal kezelt nagy permittivitású celofán dielektrikum biztosította. Az 1 triódát, 1 kondenzá-



2. ábra

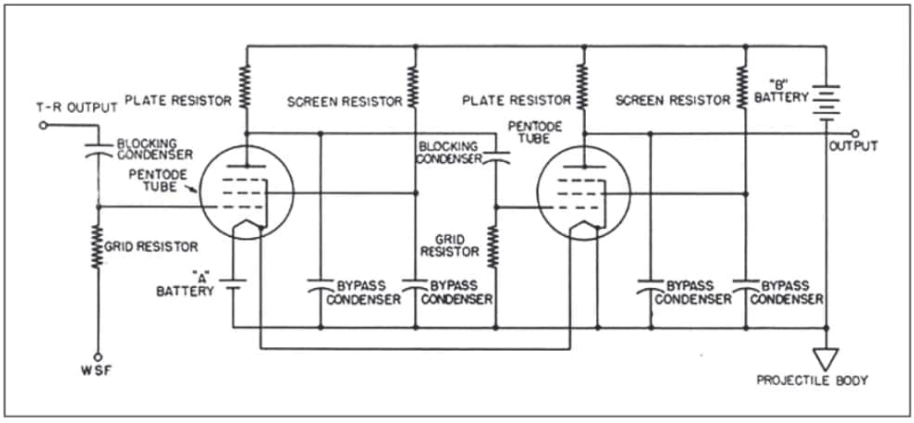
tort, 1 ellenállást és 2 tekercset tartalmazó kb. 200 MHz-es adó-vevő oszcillátor a gyújtó orrkúpja közepén volt elhelyezve. Ehhez kapcsolódott az antenna, amely az orrkúp csúcsához közelebb kapott helyet. Az antenna vagy egy kúpos fém kupak volt, amely a műanyag orrhegy alakját követi, vagy egy huzalhurok volt az orrban. A gyújtó elektroncsöveit gumi burkolattal vették körül és az egész elektronikát, valamint a gyújtó kúpjának belsejét mikrokristályos rugalmas viasszal légmentesen feltöltötték. A gyújtó orrkúpja újonnan kifejlesztett magas permittivitású műanyagból (etil-cellulóz származékból) volt kiöntve, amely műanyag „átlátszó" volt az alkalmazott URH rádiófrekvenciák számára, és éppen a magas permittivitásából adódó nagy törésmutató tette lehetővé az igen rövid antenna kialakítását.

Az adó-vevő oszcillátor (2. ábra)

Az egyetlen triódát tartalmazó, tekercsleágazásos és földelt rácsos Hartley oszcillátor (T-R circuit) 180…220 MHz-es frekvenciáját a tekercs, valamint antenna és a lövedék teste között kialakuló szórt kapacitás határozta meg. Ehhez a szórt kapacitáshoz hozzájárult a trióda rácsa és katódja közti kapacitás is. Az antenna karakterisztikája egy kb. 120 fokos, a lövedék hossztengelyére szimmetrikus, előremutató kúpfelület irányban volt maximális. Ez a kúpszerű irány jól megfelelt a lövedékrepeszek maximális valószínűségű repülési irányának. A céltárgy közelében a kisugárzott rádióhullámok egy része visszaverődik a céltárgyról és a gyújtó- és céltárgy távolságától függően erősítő, gyengítő vagy köztes interferenciát hoz létre az antennánál. Amennyiben az oda-vissza verődés úthossza egész számú hullámhossz nagyságú, akkor erősítő interferencia alakul ki az antennán, amely nagyobb amplitúdójú oszcillációs feszültséget csatol vissza a rácsra ahhoz képest, mintha nem érkezne reflektált hullám az antennára. A nagyobb amplitúdójú rácsfeszültség-rezgés nagyobb amplitúdójú anódáram-ingadozással jár. Mivel a rácsfeszültség közvetlenül a lezárási feszültsége felett oszcillál, az anódáram nulla erősségről induló nagyobb amplitúdójú ingadozásának átlagos nagysága növekedik.

Amennyiben a rádióhullám oda-vissza verődésének úthossza a hullámhossz valahány egész számú többszöröse plusz egy fél hullámhossz, akkor gyengítő interferencia jön lére az antennán. Az előzőekhez hasonló gondolatmenettel belátható, hogy ekkor az oszcillátor nulla és maximum érték közti anódáram váltakozásának amplitúdója csökken, ahhoz képest, mint amikor a céltárgyról még nem érkezik reflektált hullám. Ekkor az átlagos anódáram is csökken. Az átlagos anódáram, statikus helyzetben, az anódáram-rezgés maximális értékének kb. a fele. Amennyiben a céltárgy és a gyújtó antennájának távolsága csökken, akkor ez az átlagos anódáram-növekedés és -csökkenés periodikusan váltakozik, mégpedig a céltárgy és az antenna relatív sebessége által meghatározott frekvenciával. Úgy is szokták ezt fogalmazni, hogy az antenna érzékeli a hozzá valamilyen sebességgel közeledő céltárgy által visszavert hullámot, és az oszcillátor átlagos anódáram-ingadozásának frekvenciája a közeledő céltárgyról visszavert hullám Doppler eltolódás frekvenciájának felel meg. Ahogy a céltárgy egyre jobban közeledik a gyújtó antennájához, úgy növekszik a Doppler frekvenciájú átlagos anódáram-ingadozás amplitúdója. A Doppler frekvencia legfeljebb néhány száz hertz nagyságú volt a VT lövedékek és a célzott repülőgépek relatív sebessége esetén.

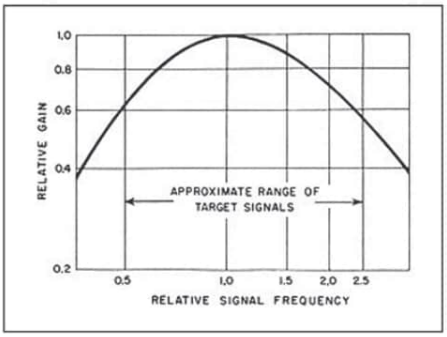
Az oszcillátorcső anódfeszültsége kb. 200 MHz-es komponensének megfelelő váltakozó áram zöme a „BYPASS" kondenzátoron halad át, mivel ennek a kondenzátornak ezen a nagy frekvencián jóval kisebb az impedanciája, mint a „LOAD" ellenállás, a vele sorba kapcsolt telep és a követő elektronika bemenőimpedanciájának eredője.



3. ábra

A szelektív erősítő

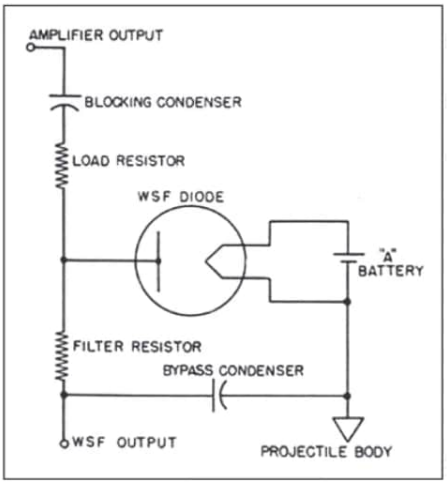
Az adó-vevő oszcillátort hagyományos kapcsolású, RC-csatolt, két azonos kapcsolástechnikájú, kaszkádba kötött pentódás erősítő követi (**3. ábra**). A váltóáramú, kondenzátoros elválasztás következtében a bemenő pentódájának rácsához csatlakozó „GRID" ellenálla-



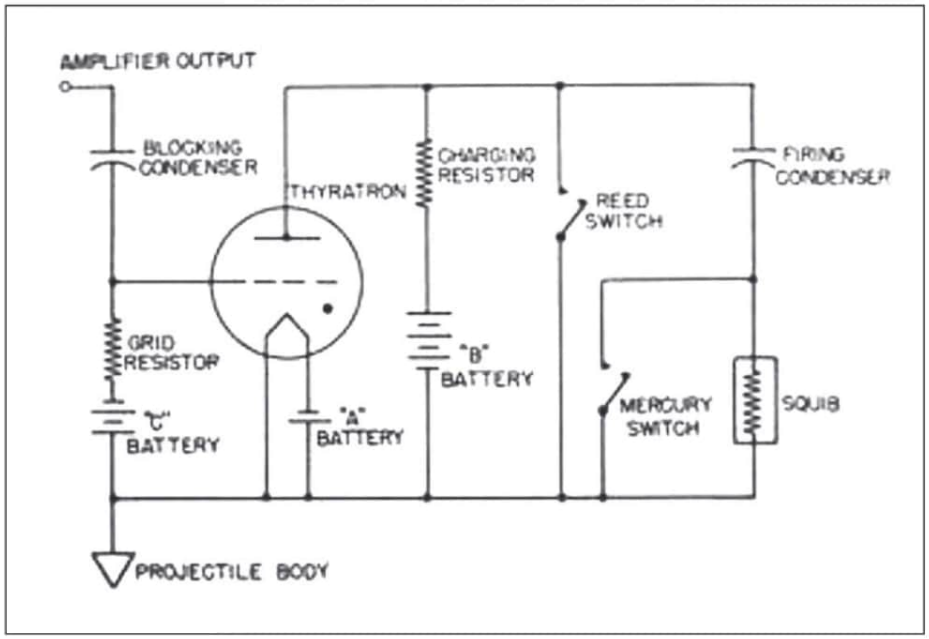
4. ábra

son csupán a 200 MHz-es RF-hez képest lassan váltakozó Doppler frekvenciájú váltóáram-komponens halad át és az általa az ellenálláson létrehozott alacsonyfrekvenciás feszültségjelet erősíti tovább.

Ez a sávszelektív erősítő úgy volt kialakítva, hogy alsó és felső határfrekvenciája megfeleljen azoknak a Doppler eltolódásoknak, amit egy a lövedéktől pont elfelé repülő és egy pont a lövedék felé haladó korabeli repülőgép hozna létre. Lövedék- és repülősebességek határeseteivel számolva ez kb. a 200…800 Hz-es frekvenciatartomány volt. Az alacsonyabb frekvenciájú jeleket az árnyékolórács és a föld közé kapcsolt kondenzátor simító hatása nyomta el. Alacsony frekvenciákon jobban megemelkedett az árnyékolórácsra jutó pozitív feszültség, és ekkor a rács jobban elszívta az anódáramot az anódtól, csökkentve a fokozat erősítését. Nagyobb frekvenciákon a kondenzátor kisebb impedanciája miatt az árnyékolórács átlagos pozitív feszültsége csökkent, nőt az anódáram és vele együtt a fokozat erősítése. Az anód és a közös pont („föld") közé kapcsolt kondenzátor pedig a magasabb frekvenciájú jeleket nyomta el. A relatív átviteli karakterisztikát a **4. ábra** mutatja.



5. ábra



6. ábra

Erősítésszabályozás (WSF)

Amikor az antenna a célt jobban megközelítette, a dopplerjel amplitúdója hirtelen megemelkedett, a nagyobb jel pedig egy bizonyos szintnél beindította a tirátront.

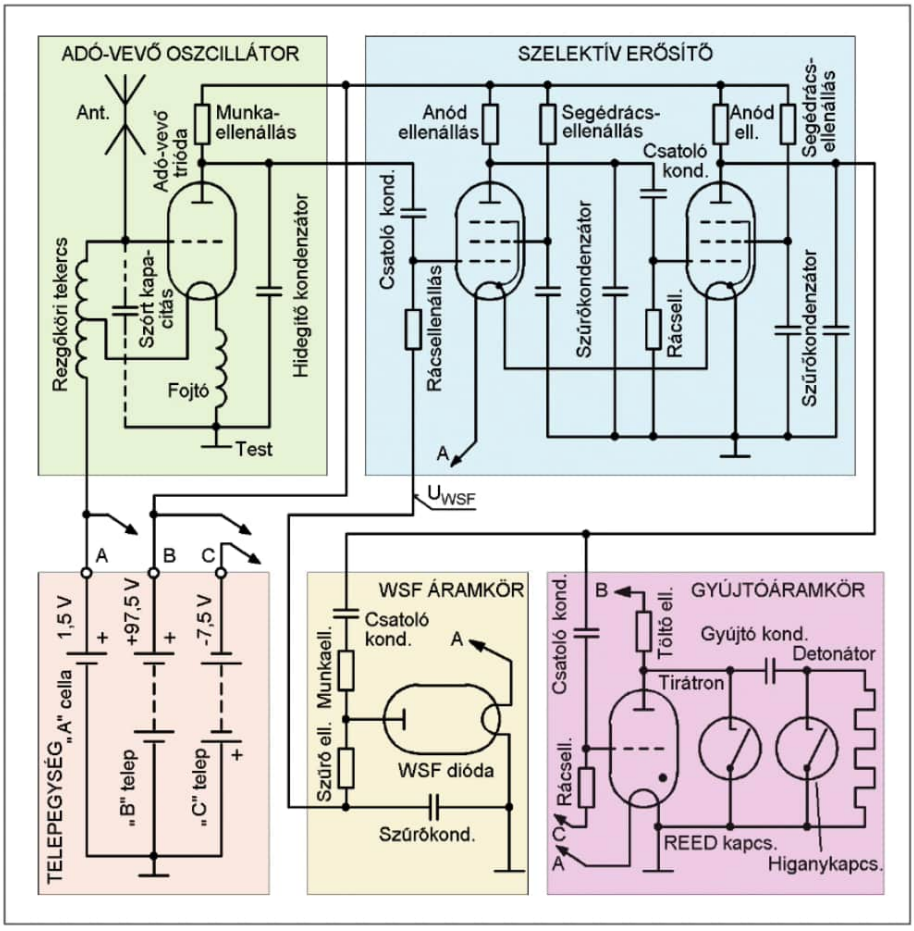
Problémát jelentett a lövedék víz feletti repülése, mert ekkor a vízhullámokról visszavert rádióhullámok okozta interferenciák annyira megnövelhették az erősítő váltófeszültségű kimenőjelének amplitúdóját, hogy a töltet gyújtása csupán ettől a hamis jeltől beindult. A vízhullámok okozta jelnövekedés tartósan fennállt a lövedék cél felé repülése közben. Ezért egy olyan áramkört alkalmaztak, amely állandóan nagy amplitúdójú váltófeszültségű kimenőjel esetén jelentősen csökkentette az erősítést.

Az erősítésszabályozós „hullámelnyomó" (Wave Supressor Feature, WSF) áramkör **5. ábrán** látható diódája lesöntölte az anódjára kerülő váltakozó feszültségű jel pozitív félhullámait, mert ekkor átvezetett. A negatív félhullámoknál a diódacső nagy ellenállásként viselkedett, és a továbbjutó negatív feszültségű komponensek átlaga az aluláteresztő RC szűrő ellenállásán keresztül, a kondenzátorral simítva megjelent a WSF áramkör kimenetén. Tehát a WSF áramkör kimenetén megjelenő negatív feszültség nagysága arányos volt az erősítő tartósan fennálló kimenőjelének amplitúdójával. Ezt a negatív feszültséget egy ellenálláson keresztül visszavezették az erősítő bemenetére, amint az a 3. ábrán látható. A bemeneti pentóda rácsfeszültségének negatív irányba elhúzása alaposan csökkentette a bemeneti pentóda erősítését. Tehát tartósan jelenlevő nagy amplitúdójú jel esetén az erősítés rövid időn belül csökkent, és végeredményben a kimeneti jel jóval kisebb amplitúdóval stabilizálódott ahhoz képest, mintha nem lenne negatív visszacsatolás.

Elektromos biztosítás, gyújtóáramkör

Amikor a lövedék a céltárgy közvetlen közelébe ért, a Doppler jel amplitúdója néhány tized másodperc alatt nagyon megemelkedett. A kimeneti jel gyors és nagy növekedését nem akadályozta semmi, mert a visszaszabályozó negatív WSF feszültség ilyen rövid idő alatt nem tudott kialakulni. A megnövekedett amplitúdójú Doppler jel pedig begyújtotta az **6. ábrán** bemutatott kapcsolás tirátronját, amikor a váltakozó jel pozitív komponense kellő mértékben felülmúlta a rács -7,5 V-os előfeszítését. Ekkor a tirátron megindúló árama gyorsan ionizálta a töltőgázt és a már plazmával teli cső kis ellenállású neonlámpaként funkcionálva a gyújtókondenzátor töltését a telepek negatív pólusához kapcsolt fémtestbe vezette. A kondenzátor kisütési árama áthaladt az elektromos gyutacs izzószálán, és azt felizzítva beindította a lövedék robbantásának folyamatát.

A könnyebb áttekinthetőség érdekében elkészítettük a VT gyújtó magyar nyelvű feliratokkal ellá-



7. ábra

tott összefüggési kapcsolási rajzát (**7. ábra**). Ezen az „A" telep 6. ábrán tévesen ábrázolt polaritását helyesen tüntettük fel.

A 6. ábrán a reed és higany biztonsági kapcsolók a kilövést követő élesített helyzetüknek megfelelően láthatók. A kilövést megelőzően mindkét kapcsoló zárva volt. Ekkor mind az elektromos gyutacs izzószála, mind a gyújtó kondenzátor pólusai rövidre voltak zárva. A kapcsolókat a lövedék pörgése nyitotta. (Megjegyezzük, hogy a REED-kapcsoló itt nem mágneses működtetésű kontaktuspárt jelentett, hanem egy olyan centrifugálbontókapcsolót, amelynek a kimozduló érintkezője egy vékony, rugalmas fémlemezke volt.) A higanykapcsoló nyitása késleltetve volt, mert a kontaktusokat záró higanynak porózus anyagba kellet hatolni a centrifugális erő hatására, ez pedig lassította a higany elfolyását. A kilövéskor az ágyúcsőben haladás közben összetört az elektrolit ampulla, működni kezdtek a telepek, a lövedék meginduló forgása pedig azonnal bontotta a reed kapcsolót. A higanykapcsoló ekkor még zárva volt. Megkezdődődött a gyújtókondenzátor feltöltése a 97.5 V-os telepről a töltőellenálláson és a zárt higanykapcsolón keresztül. A telepek teljes aktiválódási ideje kb. 0,1…0,25 s volt, az adott lövedék fordulatszámától függően. A telepek feléledésének kezdetétől a gyújtókondenzátor teljes feltöltődéséhez 0,4 s-ra volt szükség. A gyújtókondenzátor töltőárama ez idő alatt a még zárva levő higanykapcsolón haladt át, és így nem izzította fel az elektromos gyutacs fémszálát. 0,6 s múlva nyitott a higanykapcsoló és ezzel élesítette a gyújtót. A légvédelmi VT gyújtók esetében ez a lövegtől mért kb. 1000…1500 m távolságban következett be. Ezt követően a jól működő VT gyújtók a célzott repülőgéptől már 15…30 m távolságban gyújtották a töltetet.

Az 5″-es légvédelmi lövedék 3,17 kg Ammónium picrát (Dunnit) detonáló töltete a repeszeket kb. 50 m távolságig repítette szét akkora sebességgel, ami végzetes lehetett a környezetében levő repülőgépre, ha azt a repeszek eltalálták. Amennyiben a lövedék detonáció nélkül haladt el a célpont mellett, a becsapódását követően volt esély arra, hogy az esetleg éppen maradt gyújtótestben a pörgés megszűnésekor záródó reed kapcsoló felrobbantsa a lövedéket, így a VT gyújtó nem került épségben az ellenség kezébe. Néhány VT gyújtótípust forgásra oldódó mechanikai biztosítóval és a forgás megszűnésére záródó önmegsemmisítő kapcsolóval is fölszereltek.

A VT gyújtók kipróbálása

1942 januárjában a vízfelület fölé kilőtt, már megfelelő méretű VT gyújtók 52%-a aktiválódott a víz felszínhez közeledve a kb. 8 km-es repülésük vége felé. A légvédelmi lövedékek VT gyújtóinak 50%-os megbízhatóságát a hadsereg már bőven elfogadhatónak tekintette. Ugyanis a közelségi gyújtók még ilyen alacsony megbízhatóság mellett is jóval hatásosabbak voltak, mint a mechanikus időzítővel szerelt lövedékek. A gyakorlatban a VT gyújtók megbízhatósága 65…90%-osnak bizonyult. Harc közben nehéz volt pontosan megállapítani, hogy a lövedék azért nem robbant, mert nem megfelelően működött, vagy azért, mert a lövés túlságosan eltévesztette a célt. A tüzérek inkább az előző lehetőségre tippeltek. A fejlesztők meg nyilván a másodikra…

A gyújtókat magas acéltornyok közé függesztett valódi repülőgépeken is kipróbálták. A nem mozgó célpontokra kilőtt lövedékek viselkedése szerint finomították a gyújtók beállításait. Az első reálisabb lőgyakorlatot 1942 augusztusában végezték a Chesapeake öbölben. A még festékszagú *USS Cleveland* cirkálóról tüzeltek VT gyújtós éles lövedékekkel az amerikai hadsereg legújabb rádiótávirányítású nagyobb méretű repülő cél-drónjaira. Összesen három ilyen drón állt rendelkezésre akkor az egész államokban. A felhasznált lövések számát illetően a beszámolók nem egybehangzók. Az viszont egybehangzóan leírt, hogy a légvédelmi lövegeket tapasztalatlan kezelők irányozták. A három drón két napon belüli megsemmisítéséhez összesen 4 és 20 közötti lövés kellet leadni a különböző szemtanúk szerint. Akármelyik, vagy közbenső szám igaz, az eredmény megdöbbentően jó volt a várakozásokhoz képest. Legjobban megdöbbenve a drónokért felelős tisztek voltak. Becses masináikat ugyanis az előző hadgyakorlatokon éppen csak megkarcolni sikerült a légvédelmi tüzéreknek. A VT gyújtók sorozatgyártását beindították, és a hadi-

tengerészet rövid időn belül első lépésben 5000 VT gyújtót szállított a Csendes Óceáni flotta részére. Az 1943-ban egy VT gyújtó előállítási költsége kb. 750 $ volt. A háború végén már 23 üzem ontotta a VT gyújtókat, és azok ára a sorozatgyártás és az amerikai ipari képességei miatt, típustól függően 17-24 $ körül alakult.

VT gyújtók bemutatkozása a harcban

1943 januárjában a Guadalcanal-ra visszatérő *USS Helena* könnyűcirkálót és az Új Zélandi *Achilles* könnyűcirkálót 4 db *Aichi D3A* japán zuhanóbombázó támadta meg, és az egyikük bombája eltalálta az Achillest. A USS Helena azonban közte volt annak a három amerikai hajónak (a másik kettő repülőgéphordozó volt), melyek nemrég VT gyújtós légvédelmi lövedékeket is kaptak. A Helena 5″-es légvédelmi ágyúi tüzet nyitottak a távozó bombázókra és a második VT gyújtós szalvóval lelőtték az egyik japán gépet. A hír nem vert fel nagy port, nem is került akkor nyilvánosságra de fordulópontot jelentett a légvédelmi tüzérség és a hadirepülés történetében. Első ízben szedett le egy ellenséges repülőgépet egy közelségi gyújtós repeszgránát!

A cikk elején már írtam ezeknek a légvédelmi lövedékek hatékonyságáról a Csendes Óceáni harctéren, most csak annyit teszek hozzá, hogy a háború utolsó 6 hónapjában felerősödő kamikaze-támadások során lelőtt japán gépek több mint negyedét is a VT gyújtós lövedékeket tüzelő légvédelmi ágyúknak tulajdonítják. Azért csak ilyen keveset, mert a kamikazepilóták azon voltak, hogy a lehető legközelebb kerüljenek a hajókhoz. Túl közelről pedig csak a gyorstüzelő, kisebb kaliberű légvédelmi ágyúkkal lőhettek rájuk. A kamikaze-gépek közül az éjszaka bevetett és fából készült lassabb példányok ellen a VT gyújtók és a radarok hatástalannak bizonyultak.

V-1 szárnyasbombák London és Antwerpen felett

A VT gyújtó nélkül London ma másképp nézne ki. Zömével csak modern épületei lennének, mert a régiek majd' mind összedőltek volna 1944-ben. A partraszállást követően 1944-ben június közepétől elkezdődött London bombázása a V-1 lövedékekkel. A németek 80 napon keresztül összesen kb. 9500 szárnyasbombát lőttek ki Londonra. A V-1 lövedékek 1000…3000 m magasságban, 550 km/h utazósebességgel repültek London felé a csatorna felett. London felett, üzemanyagukat javát addigra elhasználva, a közben 650 km/h sebességre gyorsult szárnyasbombák propelleres fordulatszámláló szerkezete a beprogramozott repülési távolság elérésekor a kormánysíkokat zuhanórepülésre állította. A lövedékek ezt követően 850 kg Amatol töltetükkel a városra zuhantak. A támadások intenzitása akkor csökkent csak jelentősen, amikor a szövetségesek sorra elfoglalták a szárazföldi V-1 indítóállásokat. A V-1 lövedékek katonai célpontokat nem céloztak, és válogatás nélkül rombolták a várost. A szárnyasbombák a kijelölt célpontjuktól kb. 10 km-es távolságon belül csapódtak be. A pusztítás olyan súlyos volt, hogy be kellett vetni a közelségi gyújtókat. Mindaddig a VT gyújtós lövedékek száralföldi használata tilos volt, hogy a besült lövedékek gyújtói még véletlenül se kerüljenek ellenséges kézbe.

A V-1 lövedékek elleni első védelmi vonalat a part mentén telepített záróléggömbök és légvédelmi ütegek alkották. A V-1 terrorkampány kezdetétől az amerikaiak fokozatosan és rövid időn belül 500 db 90 mm-es légvédelmi ágyút telepítetek a partvonalra és szereltek fel VT gyújtós lövedékekkel. Ezenkívül gyorsan kidolgozták és szállították a VT gyújtókat az angol 3,7″-es légvédelmi ágyúk partmenti ütegeinek számára is. A partvonalon, főleg a víz felé tüzelve a VT gyújtós lövedékek nem jelentettek veszélyt a RAF vadászgépeire, melyek a szárazföld belsejében a második védelmi vonalat alkották. A VT gyújtós lövedékek a kezdeti héten a V-1-ek 24%-át szedték le. Azt megelőzően az angol légvédelemi ütegek csupán 2%-ban voltak eredményesek a V-1 ellen. A kampány végén a VT gyújtós lövedékek átlagosan a szárnyasbombák 79%-át már a partvonal felett lelőtték. Az utolsó intenzív támadáskor 104 V-1-ből csupán 4 érte el Londont, 92 szárnyasbomba a part felett kapott megsemmisítő találatot, ezekből párat a ballonok intéztek el, a maradék 12-ből nyolcat a vadászgépek szedték le a szárazföld felett. A 80 napos kampány során a 9500-ból végeredményben csupán 2419 szárnyasbomba csapódott Londonba vagy közvetlen környékére. A lelőtt kb. 7100 szárnyasbomba közül több mint 5000-et a légvédelmi tüzérség intézett el. Átlag csupán 100 VT gyújtós lövés kellet egy-egy V-1 leszedéséhez. Ezt a hatékonyságot persze szigorúan titokban kellett tartani. Miután a szövetségesek elfoglalták, lebombázták a szárazföldi V-1 indítóállomásokat, a németek már csak repülőgépekről indítva tudtak néhány tucat V-1 szárnyasbombát küldeni London irányába. Ezek java részét is leszedte a légvédelem.

1944 szeptemberétől a szárnyasbombák fő célpontja az angolok által elfoglalt Antwerpen lett. A kikötőből özönlött a hadianyag és a felszerelés a szövetséges csapatok részére. 1944 szeptemberétől 5 hónapon keresztül a németek 2500 db, alacsonyabb és gyorsabb repülésre módosított V-1-est indítottak Antwerpen kikötőjére. A VT gyújtós légvédelmi lövedékek ezeknek is lelőtték a zömét. A Rajnán való átkelést követően pedig a VT gyújtós szövetséges légvédelmi tűz több mint 1000 német repülőgépet semmisített meg a háború végéig.

Az Antwerpen védelmében elért sikerek láttán a háború vége felé a VT gyújtók földi célokra módosított változatainak a bevetését is engedélyezték. Kevés volt már akkor az esély arra, hogy a németek megfejtsék és lemásolják a technológiát. Az Ardenneki német ellentámadáskor a föld fölött 25…40 m magasban robbanó VT gyújtós amerikai tüzérségi lövedékek repeszei elől nehéz volt elbújni, és azok komoly pusztítást végeztek a német csapatok soraiban és felszerelésükben. Az Ardenneki német támadás felőrlését nem sokkal követően a VT gyújtós tüzérségi lövedékek véget vetettek a hónapok óta zajló Hürtgen erdő béli véres csatának is. *Patton* amerikai tábornok szerint a „mókás gyújtó" (fancy fuze) meg fogja változtatni a hadviselés módját a jövőben, ha majd minden hadsereg hozzájut.

A VT gyújtók zavarása

Aztán beütött a baj. Az Ardenneki sikeresnek induló német ellentámadás során a német csapatok lerohanták az amerikai állásokat, köztük egy teljesen épen maradt tüzérségi ellátmány-depót. A raktárban, többféle lövedék és gyújtó között szép számmal voltak VT közelségi gyújtók is gondosan elpakolva.

Akkor nem lehetett tudni, hogy a német katonák a roham lendületében egyáltalán megtalálták és észrevették-e ezeket a fura, áttetsző műanyag csúcsú gyújtókat. Ez volt az a pillanat amikor az amerikai hadvezetés rájött arra, hogy nem rendelkeznek a VT-gyújtókat zavaró vagy akár semlegesítő felszereléssel. Addig ugyanis nem hitték, hogy nagyszámú sértetlen VT gyújtó kerülhet az ellenség kezébe. Sok egyéb tennivalójuk is volt akkoriban, javában zajlott a sikeres német támadás például, de elsők között szakítottak időt arra, hogy megbízzanak egy csoport mérnököt azzal, hogy nagyon gyorsan dolgozzanak ki valamilyen zavaró elektronikát a saját VT gyújtóik ellen. A két héten belül elkészült megoldásban egy már meglevő változtatható frekvenciájú RF jammer frekvenciaszabályozóját egy motor hangolgatta a 180…220 MHz szélső értékek között. A kipróbálásokhoz B-17-es bombázókra szerelték fel a zavarókészülékeket, és a sürgősség, valamint az egyszerűség miatt 90 mm-es éles töltettel ellátott VT gyújtós lövedékekkel lőttek a repülőgépekre. Az éles lövedékek robbanását ugyanis kiválóan lehetett látni mind a földről, mind a repülőgépekből. A pilóták megnyugtatására kb. 1,5 fokkal félre célozták az ágyúkat. Ily módon a lövedékek 200 m-nél nem kerülhettek közelebb a gépekhez, pontos célzás esetén. Az RF-zavarás hatásosnak bizonyult, és a lövedéket többsége a gépektől jóval távolabb robbant. A távolság attól függött, hogy a pillanatnyi zavaró frekvenciasáv éppen mikor fedte le az adott gyújtó frekvenciáját. A zavaró készülékek bevetésére azonban nem volt szükség a háború hátralevő szakaszában.

Az atombomba-robbanások villanása elhomályosította a VT gyújtók hatását a II. világháború kimenetelére. A katonák és történészek szerint azonban a VT közelségi gyújtók alapvetően hozzájárultak a szövetségesek győzelméhez. Sikeres debütálásukat követően a közelségi gyújtók százféle változatban és kifinomult, zavarástűrő elektronikával mindenütt megtalálhatók a mai hadseregek arzenáljában.

Felhasznált irodalom:

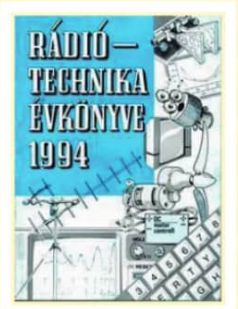
M. W. Robins „The Allies' Billion-dollar Secret", Military History 2020 szeptember.

E. A. Sharpe „The Radio Proximity Fuze – a survey", Vintage Electrics, Vol. 2, #1.

G. D. Wagner „History of Electronic Packaging at APL", Johns Hopkins APL Technical Digest, Vol.20,#1.

„VT Fuzes for Projectiles and Spin Stabilized Rockets" A Bureau for Ordnance Publication, 1946.

Nagy évkönyvvásár!



A RÁDIÓTECHNIKA ÉVKÖNYVE

1994, 96, 97, 98, 99 kötetek közül 1 db csak 1990 Ft-ért, a

2000, 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09 kötetek közül 1 db 1990 Ft-ért, a

2012, 14, 16, 17 kötetek közül 1 db csak 1990 Ft-ért, a

2018, 19, 20 kötetek közül 1 db csak 2990 Ft-ért kapható.

HAM-bazár 1138 Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H - P. 09 - 14 ó., Csüt. 09 - 17 ó.
239-4932/36 m., 239-4933/36 m. 1550 Bp., Pf. 123 www.radiovilag.hu hambazar@radiovilag.hu 6

Új, R&S® NGA100 sorozatú tápegységek a Rohde & Schwarz-tól

Lineáris tápforrásokra jellemző jeltisztaság az alapkategóriás tápegységek világában

A szinte minden munkaasztalon megtalálható, alapszintű tápegységek rendeltetése általában egyenáramú táplálás biztosítására korlátozódik. A Rohde & Schwarz újfejlesztésű, R&S® NGA100 sorozatú, alapkategóriás tápegységei mindezt túllépve e műszerosztályban szokatlan jellemzőkkel és járulékos képességekkel rendelkeznek.

A Rohde & Schwarz az új, R&S® NGA100 sorozatú műszereivel tovább bővíti alapkategóriás tápegységeinek választékát. E berendezések négy típusváltozatban rendelhetők, egyszeres vagy kettős kiépítésben, kimenetenként 35 V/6 A-es vagy 100 V/2 A-es terhelhetőségig. Az egyszeres tápegységek legnagyobb leadott teljesítménye 40 W, míg a kettősöké 80 W. Ez utóbbiak kimenetei összevonhatók, 200 V-os kimeneti feszültséget vagy 12 A-es áramot szolgáltatva.

Az R&S® NGA100 sorozatú tápforrások összes kimeneti áramköre lineáris szabályozókörrel rendelkezik, lényegesen jobb jellemzőket biztosítva, mint ami az alapszintű tápegységekben leginkább alkalmazott kapcsolóüzemű áramkörökkel elérhető. Az ily módon elért nagyobb pontosság révén biztosak lehetünk abban, hogy a terhelésre a megfelelő teljesítmény jut, feleslegessé téve multiméterek alkalmazását ellenőrzés céljából. A tápegységek kijelzőjének alapfelbontása 1 mV, illetve 100 μA, amely 200 mA alatti áramok esetén még finomabb, 1 μA lesz, így az IoT-eszközök készenléti és energiatakarékos állapotban felvett rendkívül kis áramai is kitűnően mérhetők. Az R&S® NGA100 sorozatú műszerek emellett a táplált készülékek éledésekor fellépő teljesítmény- és áramfelvételi tranziensek érzékeléséhez szükséges dinamikatartománnyal is rendelkeznek.

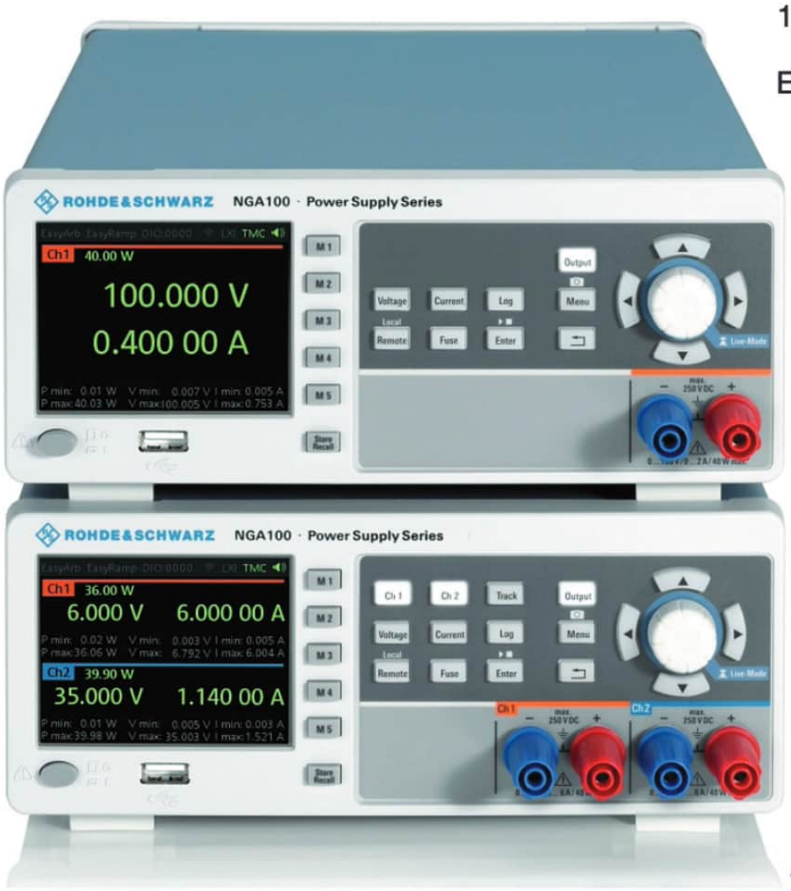
Míg a legtöbb alapszintű tápegység csupán nagyon korlátozott áram-feszültség értékhatárok között képes a maximális teljesítményét leadni, a Rohde & Schwarz által kifejlesztett, ún. „FlexPower” technológiának köszönhetően az R&S® NGA100 sorozatú tápforrások széles terhelési tartománnyal rendelkeznek, így számos különféle területen alkalmazhatók. Legyen szó bármilyen felhasználási körről, a műszerek letisztult felépítésű képernyője, intuitív kezelőfelülete, valamint sokrétű képességei – például a teljesítmény, feszültség és áram közvetlenül a képernyőn megjelenített, maximális és minimális értékeit tükröző statisztikai funkciói – jelentősen megkönnyítik a munkát.

Az R&S® NGA100 sorozatú berendezések további, az alapszintű tápegységek világában szokatlan funkciói közé tartozik a feszültség- és áramértékek utóelemzés céljából történő naplózása, aminek sebessége 10 minta/másodpercig fokozható. Adatok letöltésére és távvezérlésre szolgál az alaptartozékként beépített Ethernet- és USB-illesztő, emellett e műszerek – opcióként – WLAN-modullal és külső indító- (trigger-) jelek kezelésére szolgáló digitális be-/kimenetekkel is kiegészíttethetők. Mindezek mellett az áram- és feszültségszintek akár 10 ms-os gyakorisággal is léptethetők, a leadott teljesítmény pedig kis torzítású és kiszájú. A tápegységek érzékelő bemenete révén a hozzávezető kábelek veszteségei kompenzálhatók, a meghajtott egység betáplálási pontján biztosítva a kívánt feszültségszintet, nem közvetlenül a tápegység kimenetén.

Az új, R&S® NGA100 sorozatú tápegységek a Rohde & Schwarz „Essentials” (*Általános alapberendezések*) termékcsoportjába tartoznak. Magától a gyártótól és kiemelt viszonteladóitól már megrendelhetők.

További információk a www.rohde-schwarz.com/product/nga100 honlapon találhatók.

Rohde & Schwarz Budapesti Iroda
1138 Budapest, Madarász Viktor u. 47-49.
Tel.: +36 1 412-4460
E-mail: RS-Hungary@rohde-schwarz.com



ROHDE&SCHWARZ

Gladio – a rejtett hadsereg

Cseley Alpár, HA8KT, alpcseley@yahoo.com

Bevezetés

A II. világháborúban a német megszállás készületlenül érte a megtámadott országok hírszerző szervezeteit. Például a megszállt Hollandiában sem volt elegendő ügynökük hírszerzésre és németek elleni szabotázsakciókra. Az Angliából átjuttatott (elsősorban ejtőernyővel ledobott) ügynökök küldetése és élete – részben az angliai SOE, ill. MI6 ügynöki rádióforgalmát kezelők felületessége, részben a holland ellenállócsoportokba beépült besúgók miatt – keserű véget ért. A háború végén – tanulva a kudarcokból és készülve egy esetleges újabb (elsősorban szovjet) ellenséges invázióra – a nyugati országok titkos szervezeteket („Stay-Behind") hoztak létre, és részükre számos (titkos) depót létesítettek rádiókkal, fegyverekkel és robbanóanyagokkal feltöltve. Ezek közül néhányat Hollandiában (és másutt is) illetéktelenek megtaláltak, illetve az ún. Stay-Behind szervezetek feloszlatása után a hatóságok kiüritettek.

Ugyanakkor a Szovjetunió és szövetségesei sem tétlenkedtek. Hasonlóképpen rádiókat és fegyvereket rejtettek el számos nyugati országban, amelyek valószínűleg még mindig (talán nem is elfelejtve) békés erdőkben vastag avarszőnyeg alatt lapulnak.

A következik néhány történet, amelyekben évtizedek múlása után a rádiókról felleben a fátyol...

A Rozendaal-i erdő, Hollandia

A rejtett hadseregről szóló híradások két holland iskolásfiú történetével kezdődtek. Egyikük – a rozendaali Mark (akit a fegyverek érdekeltek) szüleivel a közeli erdőben sétált. Kirándulásokra mindig magával vitte a fémdetektorát, mint ahogy most is. Nem messze a parkolótól, ahol a szülei kocsija állt, a fémdetektor intenzíven jelzett, ezért ásni kezdett és élénk sárga színű homokra bukkant. Azt gondolta, a fémtárgy mélyebben lehet, talán repülőbomba, és ezért abbahagyta a keresést.

1983 nyarán úgy döntött, még egy próbát tesz Maurits nevű barátját is bevonva. Ismét ástak és egy viaszos papírba csomagolt fegyverekkel tele, katonai zöldre festett ládára bukkantak. Másnap ismét visszamentek, hogy a „kincs" többi részét is kiássák. Végül is összesen 19 láda került elő, amelyekben gépfegyverek, pisztolyok, kézigránátok, számos töltény és robbanóanyag volt.

A fiúk azt gondolták, hogy egy terrorszervezet fegyverraktárára bukkantak, és esetleges terrorakciók elszabotálásának érdekében a fegyvereket máshol rejtették el. Néhányat azonban hazavittek. Az izgalom és kalandvágy hajtotta őket, igy a fegyvereket kipróbálták egy országúthoz közeli terepen. Arra gondoltak, hogy az autók, motorok zaja elnyomja a lövések hangját.

Egy napon valaki felrobbantott egy kézigránátot a Rozendaal-i iskolában. Ez nem a fiúk által talált és újra elrejtett készletből származott. A rendőrség azonban megtudván, hogy Maurits érdeklődik fegyverek iránt, házkutatás tartott nála és fegyvereket talált elrejtve. Mindkét fiút letartóztatták, de később felmentették őket. 1985-ben azonban felfüggesztett büntetést kaptak, de a korábbi, hatástalanított fegyvergyűjteményüket visszakapták.

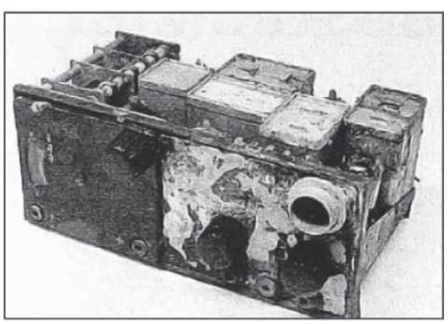
Az igazság a fegyverek eredetéről az esetről beszámoló újságcikket [1] követően a média-érdeklődés középpontjába került, majd nagysokára kiderült, hogy a fegyvereket (valószínűleg) egy titkos ellenálló szervezet rejtette el. Ezzel az ügyet a rendőrség átadta a védelmi minisztériumnak.

Utrecht, a Parkstraat-i pince

Egy további rejtelmes eset ismét ráirányította a figyelmet a „titkos ellenálló szervezetre". 1992. augusztus 5-én az utrechti Parkstraat 3. alatti ház tulajdonosa értestette a rendőrséget, hogy mielőtt eladná a házát, kéri, hogy vizsgálják meg mi van a ház pincéjében elrejtve. A tulajdonos szerint a II. világháború alatt a házat a német Sicherheitsdienst (SD) használta, fegyvereket és lőszert ástak el a pincében. Ez a bejelentés azonnal nyomozást indított el, aminek az eredménye pedig meglehetősen nagy nyilvánosságot kapott.

A rendőrség tűzszerészek bevonásával átvizsgálta a ház pincéjét, ahol 9 mm-es FN-Browning pisztolyokat, kézigránátokat, lőszereket, egy Welrod pisztolyt és két komplett rádióberendezést találtak, elásva. Az angol gyártmányú Welrod hangtompítós pisztolyt a háború alatt különleges műveletekben személyek likvidálására használták. A fegyverek és a kézigránátok is angol gyártmányúak voltak, de természetszerűleg ilyeneket a német hadsereg nem használt. A fegyverek eredetéről azt gondolták, hogy azokat valamilyen ismeretlen okból az SD ásta el a ház pincéjében. A nyomozás viszont kiderítette, hogy az SD nem a 3., hanem a 2. szám alatti házat használta, így arra a következtetésre jutottak, hogy a fegyvereket és a rádiókat a holland ellenállás szervezete rejthette el.

A helyi rádió és az újság felhívására jelentkezett valaki, aki az utrechti „Margrit" ellenállócsoport tagja volt a háború alatt. Határozottan állította, hogy a holland rendőrség hírközlési szolgálata ebben a házban (a 3. szám



1. ábra. Az utrechti pincében talált rádió egy blokkja

alatt) működött, és a rádiókat azért rejtették el a pincében, hogy ne kerüljenek a németek kezére (ez az állítás azonban hamarosan megdőlt).

A rendőrség lehetővé tette a talált, erősen korrodált rádiók **(1. ábra)** megvizsgálását egy külső szakértő részére, aki angol rádiókra számított. Első ránézésre megállapította azonban, hogy a készülékeken olyan Philips csatlakozók vannak, amelyeket a gyár csak a háború utáni évektől kezdődően alkalmazott fél-professzionális berendezésein. Egyértelmű lett tehát, hogy a rádiók nem a háborús évekből származó angol, hanem valójában későbbi Philips gyártmányúak. A két komplett rádiókészlet táp-, adó-, vevőegységekből és tartozékokat, valamint tartalék rádiócsöveket tároló dobozokból állt . A fémdobozok fekete festéke azonos volt az SVF-174 VHF rádióknál alkalmazottal, amelyeket 1950 körül a Philips/NSF a Gloster Meteor sugárhajtású vadászgépekhez gyártott.

A tartozékokat és tartalékokat tároló dobozban huzalantennák, földelőhuzalok és tápkábelek mellett EBL21, ECH41, EAF41 és AZ41 elektroncsövek, valamint egy tartalék vibrátor volt. A Philips peremcsapos (rimlock) csövek alapján bebizonyosodott, hogy a rádiók 1948 után készülhettek. A tartozékok között volt egy angol gyártmányú R-30-U fejhallgató is **(2. ábra)**, amelyiken még olvasható volt a gyártó neve és egy évszám (Woolcot, 1945).

A tápegység (anódpótló) működtethető váltóáramú hálózatról (127/220 V átkapcsolhatóan) vagy 6 V-os akkumulátorról. Ez utóbbi esetben egy vibrátor által megszaggatott egyenfeszültség a hálózati transzformátor külön tekercsére kapcsolva állítja elő a szükséges feszültségeket. Egy AZ41 kettősdióda cső végzi az egyenirányítást. A tápegységben nincs nagyfeszültséget szűrő áramkör, az adómodulban van a szűrőkondenzátor és egy hozzátartozó ellenállás. A tápfeszültségek rövid kábelen jutnak az adómodulba, és onnan tovább a vevőbe.

Az adó kétfokozatú kristályvezérelt távíróadó. Egy EAF41 cső az oszcillátor, meg eléggé meglepően egy EBL21 a végerősítő. Ez a színüveg cső egy alacsony-frekvenciás erősítő max. 11 W anóddisszipációval, amelyet a 40-es években előszeretettel alkalmaztak a Philips műsorvevőkben. Az adó a 2,5...9,0 MHz sávtartományban távíróadóként használható, a beépített (vagy külső) morzebillentyűvel. Az adó lehangolását egy lámpa segítségével lehetett ellenőrizni. Egyes antennahosszaknál az adó antennacsatlakozójánál magas feszültség léphet fel, ennek korlátozására egy neon-lámpa került beépítésre. Az adó dobozába helyezték el a nagyfeszültség szűrőjét. Az adó- és a vevőegység összekötésére (a tápfeszültségek továbbvitelére is) egy rövid, csatlakozókkal szerelt kábel szolgál.

A vevő egyszeres keverésű szuper a 3,2...7,2 MHz közötti sávtartományra. Négy EAF41 végez nagyfrekvenciás-, KF- és hangerősítést, valamint adja a BFO-t is. Hasonlóan a műsorvevőkhöz, egy ECH41 az oszcillátor, és az végzi a keverést is. A tekercsek árnyékoló serlegekben vannak, amelyeken jól olvasható a Philips felirat és a típusszámok is.

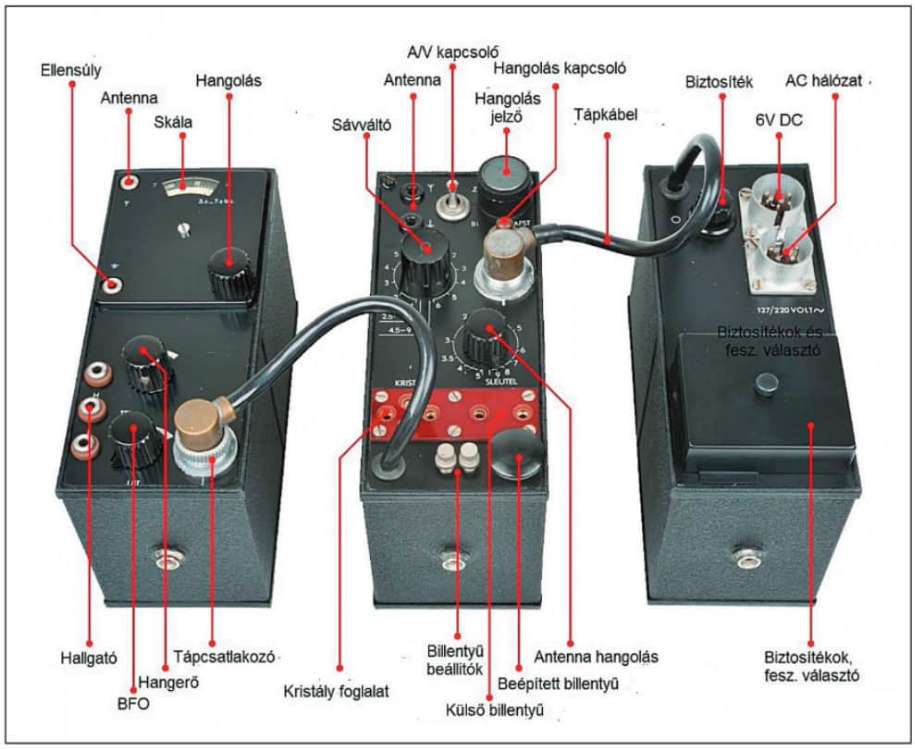
A kézigránátok mellet a ládában 8 kódkönyv (4 pár kódoló- és dekódoló) is lapult, a könyvekben a számozott oldalak mindegyikén 100 darab ötbetűs kódszóval (pl.: WYQYW, QQCDN, YXCWQ). A lapokat perforálták, igy azokat felhasználást követően a könyvecskéből ki lehet tépni és megsemmisíteni. Ezek mellett minden könyvben 2-2 nem számozott, külön megjelölt oldal is van, amelyeket kódolás/ dekódolás gyakorlásához lehet felhasználni.

A vizsgálat során egyértelművé vált, hogy ezek a rádiók a Philips cég gyártmányai. Az alkalmazott rimlock rádiócsövek arra engedtek következtetni, hogy a készülékeket 1949 körül építették. A kódkönyvek, a tartalék alkatrészek és a két (a legapróbb részletekig azonos) rádió arra utalt, hogy valószínűleg egy nagyobb, jól felkészült szervezettől származnak.

A készülékek vizsgálata után végzett rendőrségi és privát nyomozás, számos felhívás [2] a készülékek eredetének (gazdájának) megismerésére nem vezetett eredményre. Évek múltán azonban egy véletlen segített a rejtély megoldásában [3].

A kiásott rádiók vizsgálatát végző *Wim Kramer* 1997-ben látogatást tett a holland hadsereg Hiradó-múzeumában [4], és nagy meglepetésére az egyik vitrinben meglátta a Parkstraat-i ház pincéjében talált rádiók tökéletesen ép, komplett mását **(3. ábra)** és annak

2. ábra. A fejhallgató



3. ábra. A múzeumbeli Z.O.47/01

dokumentációját. Igy végül fény derült a rejtélyre a készülékek gyártóját illetően.

A múzeumban kiállított készülék tipusszáma: Z.O.47, jelentése pedig valószínűleg „Zender Ontvanger 1947”, azaz „Adó Vevő 1947”. Ez utóbbi évszám a fejlesztésre, a gyártásra adott megrendelés dátuma lehet. A múzeumban lévő, a készülék leírását tartalmazó könyv első oldalán a Z.O.47/01 megnevezés áll, ami azért érdekes, mert a Philips cég csak az ötvenes évektől kezdve alkalmazta ezt a jelölést (/01 stb.) a módosított vagy új sorozatból származó készülékeken. Így a múzeumban lévő rádió az Utrecht-ben találtak módosított (modernizált) változata lehet.

Külsőleg két változás látszik: a Z.O.47 kapcsolóinak és forgatógombjainak feliratai narancsszínűek voltak, míg az újabb Z.O.47/01 esetében fehér festéssel készültek. További különbség, hogy a régebbi modell tápkábelein a csatlakozók egyenesek, mig az új modellen L alakúak (a 3. ábrán láthatók).

Az új készülékben a 41 sorozatú csöveket a 42 sorozatúakkal váltották fel, az adó végcsöve azonban maradt az EBL21. Az AZ41 egyenirányítót szeléncellás hídra cserélték. A kondenzátorok és ellenállások a régi készülékekben a műsorvevőkben használatosak voltak, mig az új modellbe jóminőségű, professzionális alkatrészek kerültek. Mindezek után az Utrechtben talált készülékek eredete (gyártója) nem maradt titok többé. Az a kérdés viszont megválaszolatlan maradt, hogy ki által és mire szolgáltak ezek a rádiók?

O&I szervezet

A hollandiai titkos, rejtett Operatiën en Inlichtingen (Műveletek és Hírszerzés) szervezet hírközlése számára az 1947-körül tervezett Z.O.47, illetve 47/1 rádiókat az 1970-es évek közepén felváltották az eredetileg német gyártmányú FS7/SP15 rádió módosított változatával. A Pfitzner cég által gyártott FS-7 csöves adót az angol Racal cég által kifejlesztett szintetizátorral szerelték fel, és átnevezték FSS-7-re **(4. ábra)**. Az észlelés és (irány-)bemérés lehetőségének minimalizálására a rádiót gyorsadóval (burst transmitter) látták el, amely először magnetofonról, majd későbbi fejlesztés eredményeképpen elektronikus memóriában tárolt morze táviratot nagy sebességgel tudott továbbítani. A vevő tranzisztoros, jelzése: FE-8 (Funk Empfänger, a Walter & Goltermann cég gyártmánya).

Stay-Behind szervezetek

Stay-Behind szervezeteket más országokban is létrehoztak, amelyek közös NATO irányítás alá vontak:
Olaszország – Gladio, Ausztria – Schwert, Törökország – Red Sheepskin, Dánia – Absalon, Svédország – Sveaborg, Görögország – Sheepskin, Svájc – P26, Norvégia – ROC, Spanyolország, Hollandia – I&O, Belgium – SDRA8, Portugália – Aginter Press, Franciaország – Glaive, UK – Stay-Behind, Ny.-Németország – TD BJD. A NATO főhadiszállása (Shape, székhelye Mons, Belgium) mellett működő Allied Clandestine Committee (Egyesitett Titkos Bizottság) a nyolcvanas évek elején engedélyezte egy közös európai rádiórendszer kifejlesztését a tagországok Stay-Behind szervezetei számára. Az új rádió kódneve Harpoon („Szigony”) lett. Mivel a holland O&I szervezetnek sürgősen szüksége volt egy új rádióra a lassan már elavuló FSS-7 helyett, ezért – ideiglenes megoldásként – a RACAL gyár PRM-4150 (Tithe kódnevű) rádióját vették használatba DZO-81 kódnévvel (Data Zend-Ontvanger 1981). Ez egy Samsonite diplomatatáskába épített adó-vevő **(5. ábra)**, automatikus antennahangolóval és kódolóval (gyorsadóval?). Az elásott, korábban elrejtett rádiókat viszont nem cserélték le.

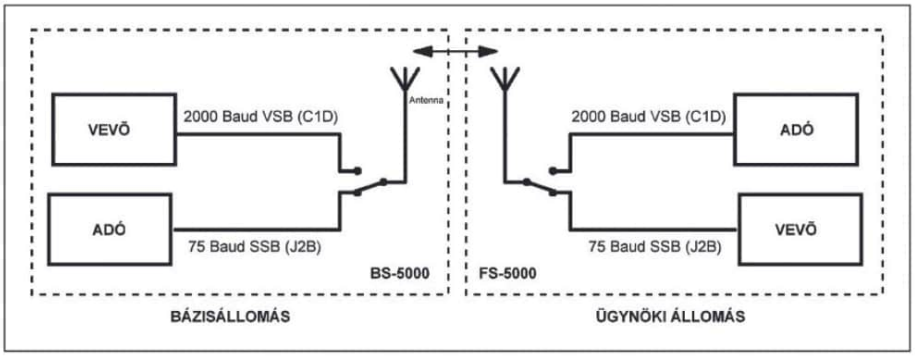
4. ábra. Az FSS7 rádiókészlet

5. ábra. RACAL PRM-4150 TITHE (DZO-81)

Harpoon rádió

A Stay-Behind szervezeteket részben az angol MI6 (hírszerzés) részben a CIA kontrollálta (múlt idő?).

Az angol irányítás alatt álló szervezet a UK területén álcázott depókat, rejtekhelyeket hozott létre, amelyeket fegyverekkel és HF rádiókkal töltöttek fel. Hasonló depókat készitettek Európában is, fegyverekkel, rádiókkal feltöltve, amelyeket a szervezet aktiválásakor majd kiáshatnak. Az új rádiókat az MI6 irányításával fejlesztették ki



6. ábra. A HARPOON rendszer aszimetrikus összeköttetése

9. ábra. A kódoló/dekódoló blokk

és építették, ezek a világháború alatt az ügynökök, szabotőrök által használt hires B2 koffer-rádió modernizált változatai lettek, 20 W teljesitményű CW adókkal a 2,5...20 MHz sávtartományra.

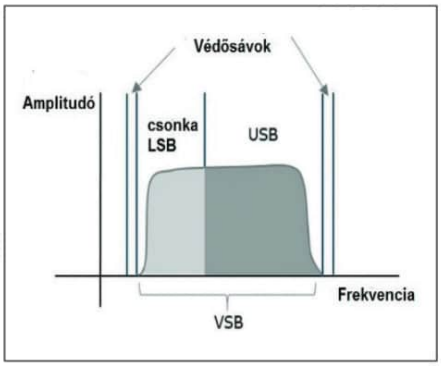
A nyolcvanas évek végére készült el a Harpoon rádió (az AEG Telefunken fejlesztésében, az angol MI6-szel kooperációban), hogy Európában az összes titkos (elrejtett) rádiót felváltsa. A Harpoon hivatalos megnevezése BS-5000, illetve FS-5000, de Hollandiában az AZO-90 nevet kapta (Automatische Zender-Ontvanger 1990), míg az AEG-Telefunken az SY-5000 megjelölést alkalmazta. 1988-1990 között a holland – ekkor még működő, titkos I&O (Stay-Behind) szervezet 110 Harpoon készletet kapott. A berlini falat azonban 1989-ben ledöntötték, és a Szovjetunió közel került a felbomláshoz. Szükségtelenné válván a holland I&O szervezetet 1992-ben feloszlatták, rádióikat megsemmisítették.

A Harpoon rendszer (SY-5000) két különböző rádióból épül fel: bázisállomásból (Base Station: BS-5000) és az ügynöki (hordozható) rádióból (Field Station: FS-5000). A kétfajta állomás között az összeköttetés a terepi (ügynöki) állomás bemérhetőségének megnehezítésére aszimetrikus **(6. ábra)**. Szakítva a morze-táviratozással a terepi állomás 2000 baud sebességgel egy 55 karakteres táviratot kevesebb, mint 0.8 s alatt képes leadni! Ez az állomás bemérését gyakorlatilag lehetetlenné teszi. A gyorsadó VSB (Vertigial Side Band) azaz C1D modulációt használ **(7. ábra)**, ami lehetővé teszi az előbbi sebesség elérését nagyon kis sávszélesség felhasználásával. A bázisállomás SSB (J2B) modulációt használ 75 baudos FSK átvitelre. A rendszer eme aszimmetriája miatt az ügynöki állomások csak a bázisállomással képesek forgalmazni, egymással nem.

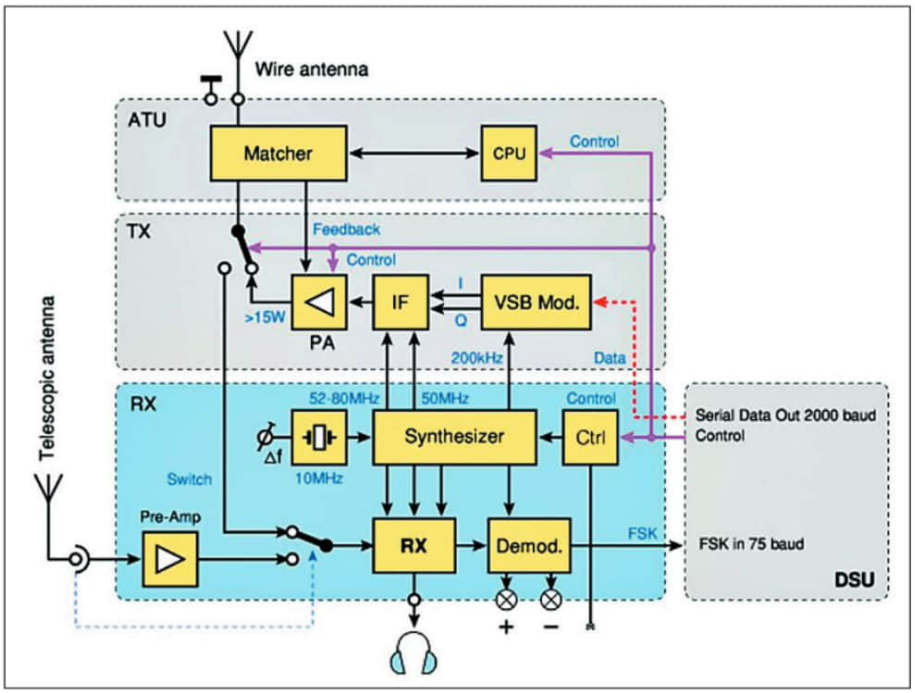
Az ügynöki oldalon a használni kívánt frekvenciát a rádió digitális vezérlőmodulja (DSU: Digital Storage Unit) generálja úgy a vevő-, mint az adó részére (az FS-5000 rendszerterve a **8. ábrán** látható). Ugyanez a modul tárolja a billentyűzeten beírt táviratot és vezérli az adót, valamint vételnél a kijelzőjén megjeleníti a vett és a dekódolt szövegeket **(9. ábra)**. Programozható, hogy mikor kapcsoljon a bázisállomás vételére és dekódolja, tárolja a vett táviratot. Adásoldalon is beállítható a táviratok leadásának ideje. Igy az összeköttetésekhez nem kell valakinek személyesen a rádió mellett lennie, és nem szükséges többé külön rádióst használni – az „egyszemélyes ügynök" koncepciója szerint.

Az ügynöki rádió automatikus antennahangolója 7,5...25 m közötti hosszúságú „long wire" antennát kevesebb, mint 3 s (tipikusan <1 s) alatt hangolja le. Vételnél lehetőség van egy beépített teleszkópantenna használatára is, ekkor egy előerősítő kapcsolódik be az antenna és a vevő közé.

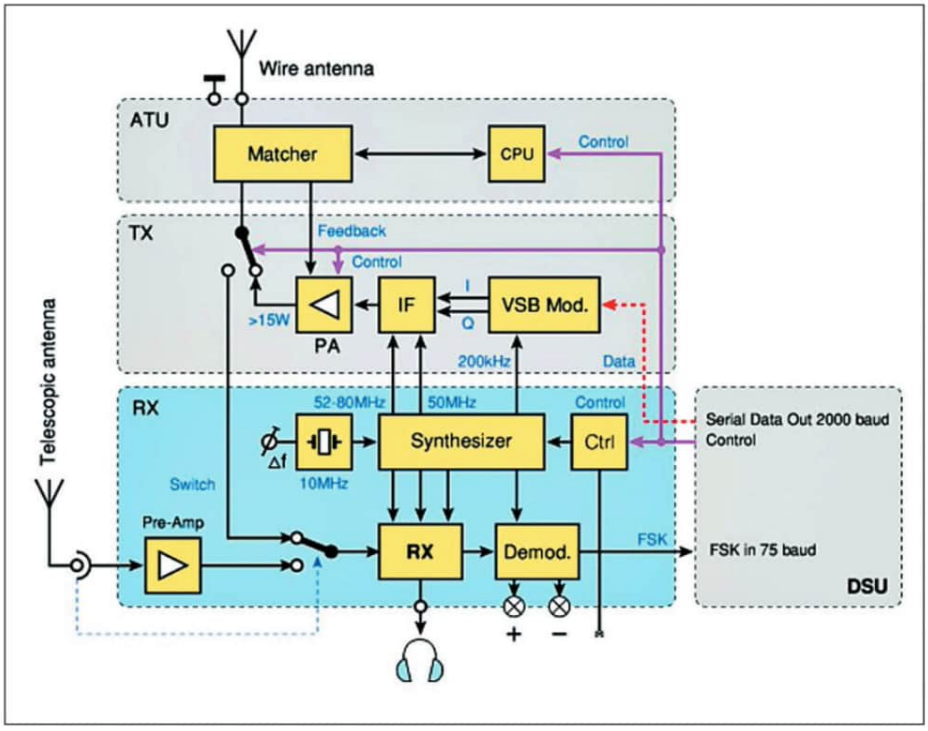
A részegységekből összeállított **(10. ábra)** és diplomatatáskába épített ügynöki rádió **(11-12. ábra)** adója 1,6...30 MHz között >15W teljesítményű, vevője 500 kHz...30 MHz között 1 kHz-es lépésekkel hangolható.



7. ábra. Az adás spektruma



8. ábra. Az FS-5000 HARPOON rendszerterve



10. ábra. A részegységek funkciói

A Short Wave Magazin [5] hasábjain folyó találgatás a UK területén működő „kormányzati” rádióállomások szerepéről kiemelten említi a skóciai Montreathmont Moor-i rádióállomást. A feltételezés szerint az ottani 30 kW-os rövidhullámú adó célja a Stay-Behind szervezetekkel történő kapcsolattartás (1960 körül kezdve és később). Egy „hadgyakorlat” során, amikor a cél egy Stay-Behind egységnek a gibraltári sziklába való beépülése volt, az utasításokat ezen az adón keresztül kapták (CW-ben).

11. ábra. Az összeépített FS-5000 HARPOON

12. ábra. Az FS-5000 számzáras „diplomatatáskába” építve

A hidegháborús ellenfelek: a Szovjetunió, a Varsói Szerződés országai nem nézték tétlenül a nyugati országok Stay-Behind szervezeteinek létezését. Habár a keleti oldal akcióit mindmáig homály fedi, néhány eset, forrás segít megismerni az elrejtett hírközlő eszközöket, rádiókat.

Az angol Daily Mail napilap online kiadásának 2020. március 10-i számában adott hírt arról, hogy német régészek egy római kori villa maradványait tárták fel a Köln közelében (30 km-re) lévő hambachi erdőben, amikor 2019. augusztusában egy gyári-új állapotú modern, szovjet rádióberendezést találtak, amit feltehetően röviddel a berlini fal lebontása előtt rejthettek el. Az ásatás során talált rádiót egy csavarokkal lezárt, tömített fémláda tartalmazta. A láda felbontásakor sziszegve tódult be a levegő, ami arra utal, hogy páralekötő anyagot helyezhettek a rádió mellé a korrózió megakadályozására. A talált rádió az R-394KM hordozható katonai rádió Strizh névvel, amelyet a Szovjetunióban gyártottak 1987-ben. Az adón – a többi ismert, hasonló készüléktől eltérően – angol feliratok voltak, mert feltehetően oroszul nem tudó, a cirill betűket nem ismerő, felhasználók számára készítették azokat (Bár, az is lehet, ezt csak álcának szánták.)

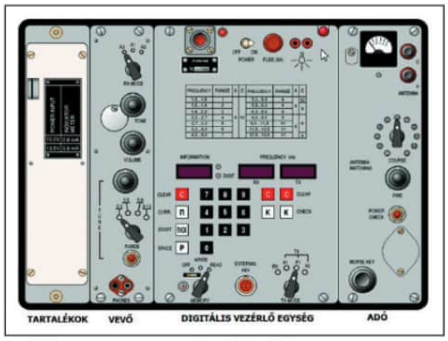
13. ábra. Az R-394KM (III. modell)

Az R-394KM digitális vezérlésű HF rádiókészletet a korai 1980-as években fejlesztették ki a Szovjetunióban, a rövidéletű R-394K utódjául. Ezt a típusú rádiót (és változatait) a KGB és más szolgálatok használták úgy a Szovjetunióban, mint a Varsói Szerződés országaiban a hidegháború utolsó fázisában. Ez volt az utolsó modell a vasfüggöny 1989-es lehullása és a SzU 1992-es széthullása előtt. A Szovjet Hadsereg 1984 körül kezdte alkalmazni, de az NDK néphadserege, az NVA (Nationale Volks-Armee) relatíve kissé később, 1988-ban vette használatba.

A rádiónak több változata készült:

Az R-394D, -K, -KM terepi használatra (katonai stb. célra), az F-394T, R-394TS, R-394TSM (valószínűleg) ügynöki híradás számára

A hambachi erdőben talált R-394KM a katonai változat (III. modell), amelyet egy párnázattal ellátott vzálló fém hordládába építettek **(13. ábra)**. A használt rádiók piacán legtöbbet ez a model szerepel!



14. ábra. Az R-394KM (III. m.) elölnézete

15. ábra. Az R-394T (IV. modell) szállítódobozban

Az R-394KM rádió

A rádióállomás moduláris feléptésű, 4 részegységből áll: I. rekesz a tartalék alkatrészeknek, II. vevő (RX), III. digitális tároló egység (DSU), IV. adó (TX).

Az R-394KM rádió kezeléséről részletes leírás áll rendelkezésre. A **14. ábrán** balról jobbra haladva látható a tartalék alkatrészek tároló rekesze (néhány égő, biztosítékok, antennahuzalok), a vevő, a digitális vezérlő/tároló egység (DSU) és az adó.

A készülék tárolt táviratot leadó rendszert és digitális osztott-kijelzőt tartalmaz, mert az adás és a vétel frekvenciái lehetnek eltérőek, és azokat külön-külön kell beírni.

A komplett rádió – a telepek kivételével – vízálló dobozba épített, amelynek puha párnázata és hordhevederei vannak, így háton hordozható. A doboz jobb oldalán egy vászonzseb van az antenna és az ellensúly huzaljai, valamint egy – a huzalok például fára feldobásához használandó – súly számára.

A doboz belseje a szokásos szürke kalapácslakkal festett, a külseje pedig tipikus szovjet katonai homokszínű. A doboz fedőlapjára belül egy csavarhúzó és egy kis munkalámpa van rögzítve, utóbbit a kezelőpanel felső szélén a biztosítéktól jobbra lévő aljazatba lehet csatlakoztatni. A rádió korábbi változatainál további tartozékokat is elhelyeztek a fedőlapon. A rádió előlapjának elrendezése és feliratai révén (14. ábra) a vevő és az adó kezelése elég egyértelmű.

A KM és T (III. és IV. modellek) vevői PLL hangolású, kétszeres keverésű szupervevők (40,5 MHz és 500 kHz KF-fel), az adóval megegyezően 1,5...13,499 MHz között 1 kHz-es lépésekben állítható frekvenciák vételére, 2-3; 3-5 és 8-13,499 MHz-es frekvencia körzetekre bontva alkalmasak. A vételi módok: AM, CW és A2 (az utóbbi digitális adások vételére). A vevő BFO-ja hangolható.

A digitális vezérlő-tároló DSU használata kissé összetettebb. Az adó és a vevő frekvenciái külön-külön tárolhatók, a közleményeket (táviratokat) a DSU memóriájába előre be lehet írni, majd később, egy tetszés szerint időben továbbíthatók.

A DSU memóriájában a számjel táviratok 203 db, 5 számjegyből álló blokkokban tárolhatók, amelyeket kiválasztva, egymás után (CW-ben) lehet adásba küldeni. Az adás sebessége választható:

- A1 (CW) választása esetén kézi billentyűzés vagy 10 db ötös számcsoport/ perc automatikusan;
- A2 (MCW) módban (hangzótávíró) 167 db ötös számcsoport/perc sebességgel, azaz a tárolható leghosszabb 203 számcsoport leadásának ideje kb. 1,2 perc;
- FM módban (fázismodulációs távíró) – ami legbiztonságosabb adásmód – 415 db ötös számcsoport/perc, amivel a max. 203 tárolt számcsoport 0,5 perc alatt adható le.

Három kijelző van a DSU közepén: a bal odali a kódolt (leadandó vagy a vett) távirat ötös számcsoportokban való kiírására, a másik kettő pedig a vételi, illetve az adási frekvencia kijelzésére. A billentyűzeten beírt frekvenciákat a K billentyűkkel lehet a kijelzőkre kiíratni. A C billentyűkkel a kijelzők törölhetők új értékek beírása előtt. A memória törléséhez a rádió kikapcsolása után a MEMORY kapcsoló melletti reteszelő gombot megnyomva lehet a kapcsolót OFF állásba fordítani.

A kijelzők feletti táblázat tartalmazza a vevő hangolható preszelektorának az egyes frekvenciatartományokhoz tartozó-, és az adó antennahangolójának beállításait. A táblázat a használandó antenna („A")-, illetve ellensúly („C") huzalok hosszát is tartalmazza. Egy megfelelő huzalantenna és ellensúly a készlet tartozéka.

Az adó a vevőhöz hasonlóan rövidhullámon, a 1,5...13,499 MHz sávban használható. Az adómodul a DSU-tól jobbra látható, PLL-vezérelt és CW-n 10 W a kimenő teljesítménye. A lehető legnagyobb kimenő teljesítmény eléréséhez először az adómodulon lévő antennahangoló fokozatkapcsolót kell használni, majd az antenna finom lehangolása (másik forgatógombbal) az adóegységen lévő műszer kijelzésének maximumára történhet. Ugyanazzal a műszerrel a tápfeszültség is ellenőrizhető.

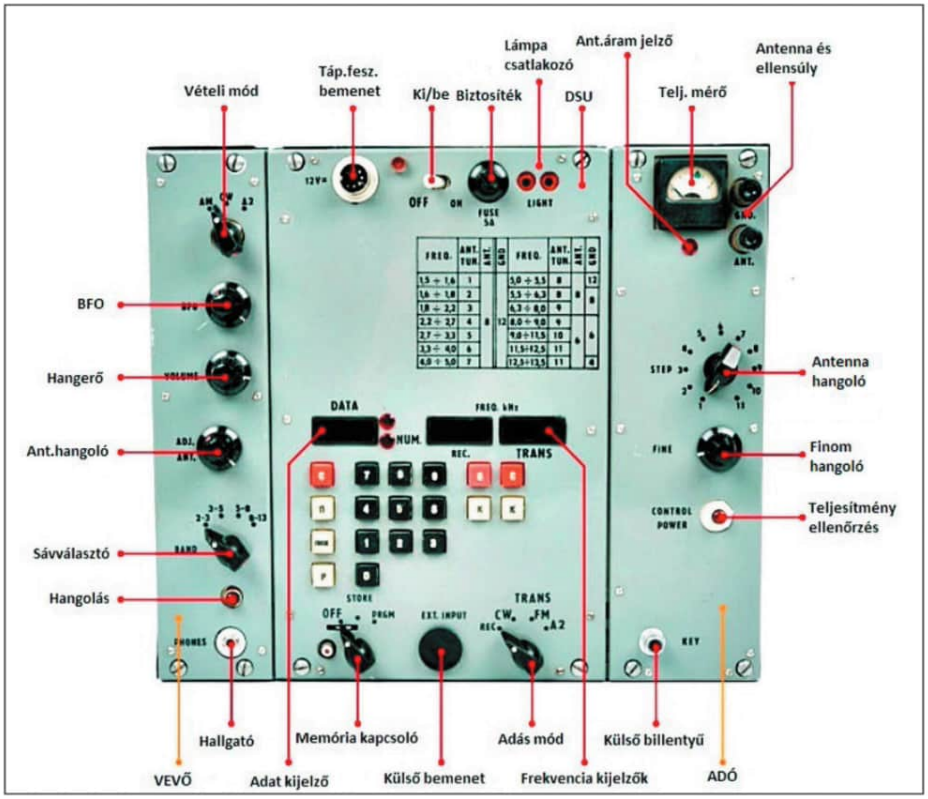
A kezelőlapon jobb oldalon, alul található egy kis beépített morzebillentyű a kézi távíróadáshoz. A billentyűtől jobbra, egy ovális fedél alatti rekeszben van hely egy 9 V-os hengeres telep (6 db kerek, 1,5V-os cellából összeállítva, mint az egykori SOKOL zsebrádióé), ami a DSU memóriájában tárolt adatok megőrzését biztositja akkor is, amikor a rádió ki van kapcsolva.

A rádió további változatai: F-394T, R-394TS, R-394TSM (IV. modell), a (titkos-) ügynöki rádiók orosz kódnevükkel váltak ismertté: Strizs (angolul Swift, azaz „gyors"). Ezeket a rádiókat a KGB és a GRU, valamint a varsói szerződés többi országainak titkos szervezetei használtak. Bár belül a III. és IV. típusok azonosak, a IV. modell kívül valamelyest más, katonai szállítódoboz helyett kisebb méretű dobozba épitették **(15. ábra)**. Az előlap feliratai angolul vannak, és a nyugati országokban általános 3,5 mm-es jack aljazattal szerelték fejhallgató csatlakoztatásához. Az előlap elrendezése **(16. ábra)** megfelel a III. modellnél látotthoz. A memória-táp hengeres orosz telep helyett egy szokványos 6F22 9 V-os telep került az elülső oldallapon kialakított rekeszbe **(17. ábra)**. Nincs beépített morzebillentyű, hanem egy RCA (Cinch) aljazathoz lehet külső billentyűt csatlakoztatni.

Moduláris felépítésű, de csak 3 blokkból áll: a tartalék alkatrészek tárolóját elhagyták (17. ábra) és a szürke (nem kalapácslakkozott) kezelőlap feliratai angolul vannak. A különálló (szétkapcsolható) modulok elrejtése, szállítása egyszerűbb.

Belső felépítését tekintve: teljesen tranzisztorizált és 200 db IC-t tartalmaz. Az adó kimenő teljesítmény: 15 W PEP (10 Weff).

A készülék mindkét modellje 12...13,8 V DC külső áramforrást igényel, ami dugós kábellel csatlakoztatható. A IV. modell tápcsatlakozója



16. ábra. Az R-394T (IV. modell) részegységei

5 csapos DIN (Tuchel). Vételnél 0,7 A, adásnál 4,5 A az áramfelvétel.

A Belfaux-i lelet

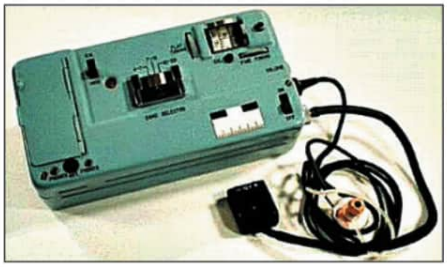
Az 1999-ben megjelent „The Mitrokhin Archive" c. könyv [6] megadta egy elrejtett, robbanószerkezettel védett rádiókészülék rejtekhelyét (Appendix 2, 483-484. old) és a robbanószerkezet hatástalanításának módját (Appendix 1, 482-483.oldal). A könyvben leírtak szerint 1966. május 15-én Bern-i KGB ügynökök elrejtettek egy BR-3U „ügynök" rádiót a CACHE no.3 névvel jelölt helyen a svájci Belfaux település melletti erdőben, és élesítették a beleszerelt robbanótöltetet. 1972-ben felmerült, hogy ellenőrizni kellene a helyszínt, és onnan el kellene a rádiót távoltani.

17. ábra. Az R-394T (IV. modell) blokkjai

Ezt a tervet azonban feladták azért, mert félő volt, hogy a rádióra szerelt „Molnyija" robbanótöltet időközben érzékenyebbé vált és a rádió kiásása, visszaszerzése közben felrobbanhat.

Mielőtt az 1999-ben kiadott [6] könyv felfedte volna a CACHE no.3 helyét, ezt megelőzően *Mitrokhin* jegyzetei alapján a svájci szövetségi rendőrség már 1998 decemberében megkísérelte az elrejtett rádiót, anyagokat kiásni. Elővigyázatosságból vízsugárral távolították el a rádiót rejtő láda körüli földet, ennek ellenére a megsemmisítésére rászerelt robbanótöltet működésbe lépett. A rejtekhelyen egy fémládát és egy vízhatlan burkolatú csomagot találtak. A fémláda egy BR-3U jelű rövidhullámú ügynöki adókészüléket **(18. ábra)**, egy SVIR elnevezésű vevőt **(19. ábra)** és a táviratok szám/morze konvertálására használatos (telefon tárcsázóra hasonlító) szerkezetet tartalmazott **(20. ábra)**. Úgy a BR-3U adón, mint a SVIR vevőn angol feliratok jelölték a kezelőszerveket. A rádiókészlet jellemzői:

18. ábra. A BR-3U adó

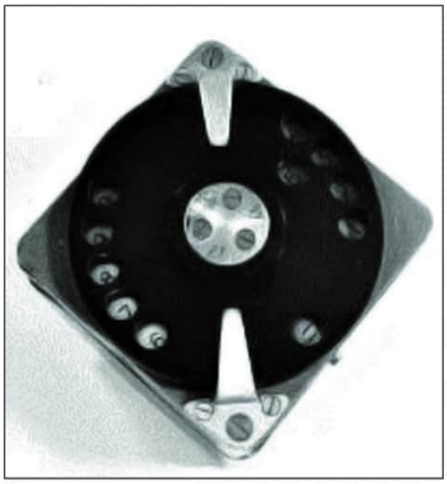


19. ábra. A SVIR vevőkészülék

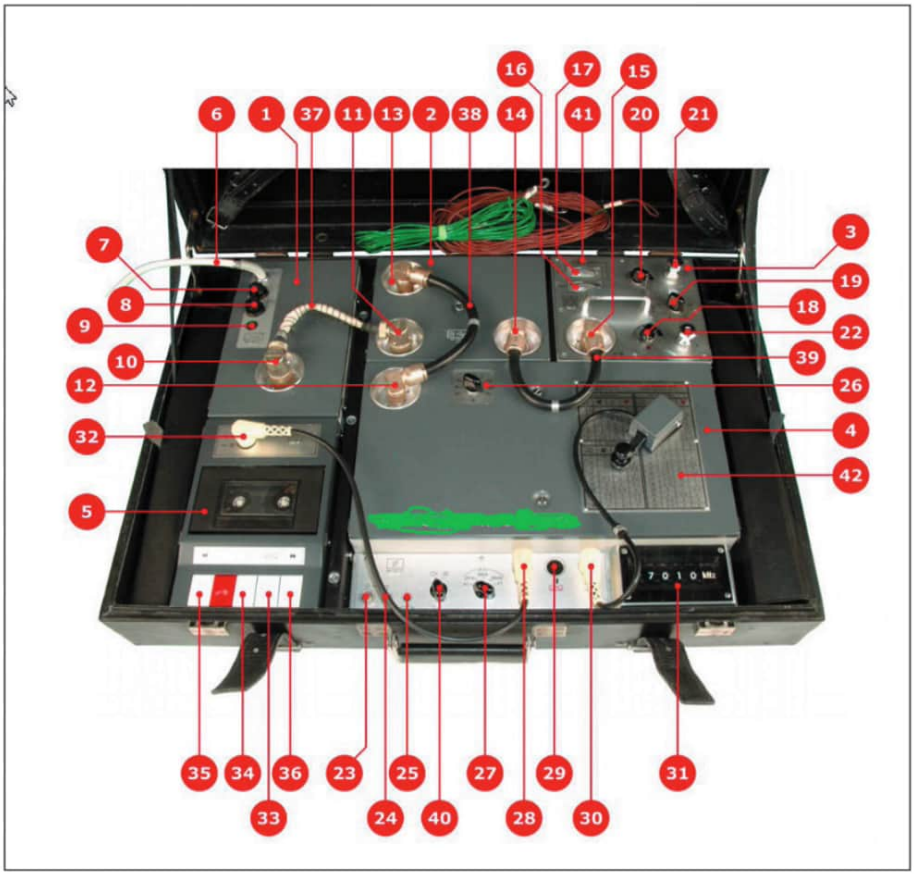
- Mágnesszalagos (kazettás?) billentyűző 450 vagy 750 wpm sebességű gyorsadáshoz frekvenciaugrásos CW módban;
- Az adó frekvenciája 4,5...18 MHz között állítható, 80 W kimenő teljesítménnyel;
- Vételi frekvencia 3 sávban, 4...20 MHz között, AM és CW vételre;
- Az egész készlet súlya kb. 15 kg.

A telefon-tárcsázóra hasonlító készülék a számokkal megadott (előzőleg titkosított, kódolt) táviratok számainak morzejelekké való konvertálására szolgált. A tárcsán választható számok azonban a telefon-tárcsázóktól eltérően más-más morzekódú számot produkáltak: például 2-es tárcsázása esetén nem 2, 7-esnél nem 7 impulzust eredményeztek stb.

Az adó, illetve az egész berendezés működésére nézve kevés információ és jóminőségű képanyag áll rendelkezésre [7]. Egy 2013-ban a hazai



20. ábra. A kódoló/dekódoló



21. ábra. Irattáskába épített AK-20 adókészülék

Részegységek és kezelőszervek: 1. tápegység; 2. adó-végerősítő; 3. antennahangoló; 4. frekv.szintetizátor, rf meghajtó; 5. kazettás magnó; 6. hálózati kábel; 7. biztosíték (1); 8. biztosíték (2); 9. hálózati fesz. jelző; 10. DC tápfesz. kimenet; 11. DC tápfesz. bemenet; 12. kisteljesítményű kimenet; 13. kisteljesítményű bemenet; 14. adókimenet ant.hangolóhoz; 15. ant.hangoló bemenet; 16. antenna (SWR forward); 17. antenna (SWR reflected); 18. antennahangolás (1); 19. antennahangolás (2); 20. antennahangolás (3); 21. antennacsatlakozás (50 ohm); 22. földelés, ellensúly; 23. DC tápfesz. ki/be kapcsoló; 24. DC tápfesz. jelzőlámpa; 25. hangolásjelző lámpa; 26. adóteljesítmény szabályozó; 27. moduláció, üzemmód választó; 28. audiobemenet (magnóról); 29. audiobemenet (külső egységről); 30. morzebillentyű csatlakozás; 31. frekvencia-beállító számkerekek; 32-36. kazettás magnó kezelőszervei; 37. tápkábel; 38. RF csatlakozókábel (1); 39. RF csatlakozókábel (2); 40. hangfrekvenciás kompresszor/limiter kapcsolója; 41. skálavilágítás (SWR műszerekhez); 42. antenna lehangolási táblázat

könypiacon megjelent könyv [8] számos érdekfeszítő interjúja között számunkra talán a leginkább figyelemre méltó az, amelyik a magyar ügynökrádiók gyártásával, és nyugateurópai kihelyezéséről szól („Magyar rejtjelezőket Nyugat-Európának!", 42-47. old.). Bizonyos igények kielégítésére szükség volt hordozható (rejthető) rádiók hazai előállítására. A koncepció szerint csak rövidhullámú adókészülékekre volt szükség, az ügynöki oldalon vételre kereskedelmi forgalomban kapható rádiókat használtak.

Az irattáskába épített adókészülék **(21. ábra)** fejlesztését 1975-ben kezdték el, és az első készülékeket 1976-ban szállították. A fejlesztő és gyártó a Mechanikai Laboratórium Híradástechnikai Kísérleti Vállalat (ismertebb nevén a MechLabor vagyis ML) volt, amelyet a rendszerváltás utáni piacvesztés (a volt szocialista- és harmadik világbeli országok fizetőképességének hiánya) miatt felszámoltak.

Az AK-20 elnevezésű modern, moduláris felépítésű adókészülék 5 részegységből áll:

AK-20-V adó (szintetizátor és meghajtó 250 mW teljesítménnyel);
AK-20-Lvf lineár végfok;
AK-20/H antennahangoló, (SWR) indikátorral (kivehető);
AK-20-M kazettás magnó (kivehető);
AK-20-T tápegység (PSU).

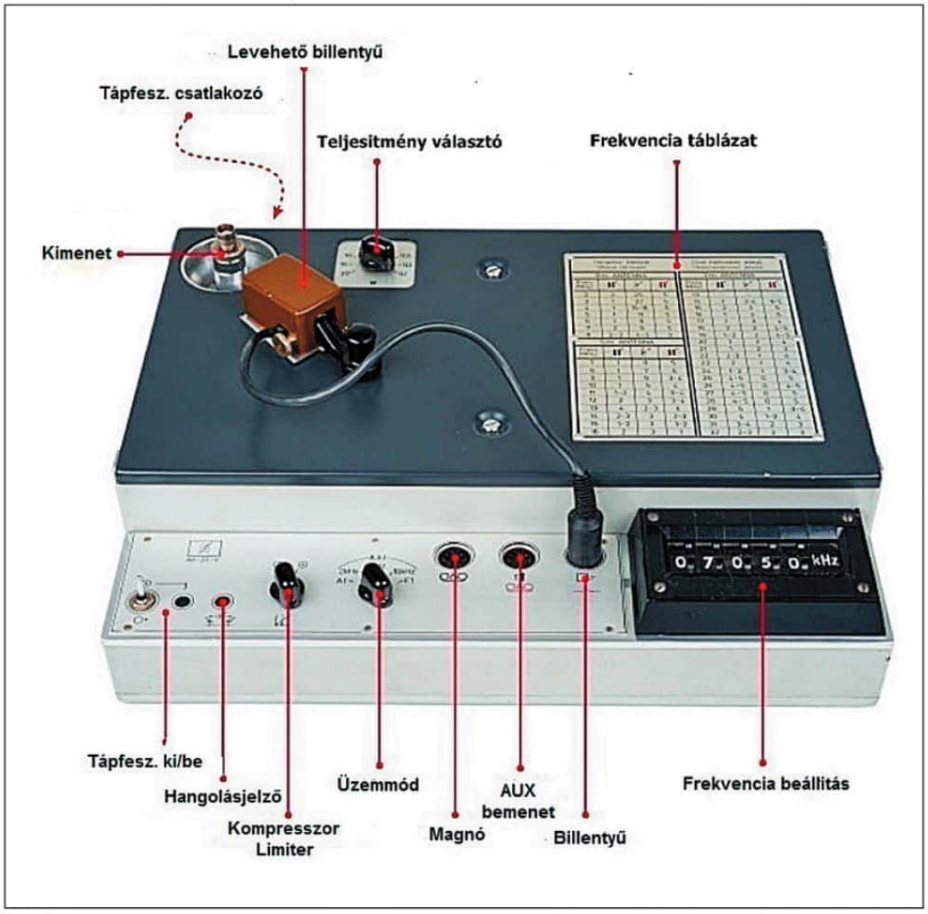
A rádióadó „lelke" az AK-20-V vezérlőmodul, ami a frekvenciaszintetizátort és kisteljesítményű (az adó meghajtására szolgáló) nagyfrekvenciás fokozatokat tartalmazza **(22. ábra)**. Az adókészülék műszaki adatai megfelelnek az 1975-76-os évek műszaki színvonalának:

Frekv.tart.: 2...32 MHz 1 kHz-es lépésekben áll.
Frekv.ingadozás: <80 Hz
Moduláció: A1, F1, FA1, A3J
Adótelj. Max.: 20 W (01...20 W állítható)
Adási seb.: 1000 baud A1 és F1 módban, 400 baud FA1 fázismod.
Üzemmód-választó: A1, A3J (2-6-10 kHz), F1
Alkalmazható antennák: 8 m 2...7 MHz-en; 5 m 6,5...15 MHz, 2 m 14,5...32 MHz (<= SWR 3)
Ant.hangolás: Collins-szűrővel
Aut. SWR-mérő 2 műszerrel (0,1 W-tól)
Lehangolási idő: 1-3 perc
Folyamatos adásidő: max. 20 perc/óra
A készülék súlya 24 kg
Táplálás: 12,6 V/6,5 A v. 220 V/0,45 A

A tisztán félvezetőkkel felépített készülék számos nyugati, illetve TESLA IC-t tartalmazott, az adó ellenütemű lineár végfokában 2 db BLX51 Si tranzisztorral. A készülék belső felépítése, elrendezése a **23. ábrán** látható.

Az adó billentyűzése történhetett kézzel vagy a csatlakoztatott kazettás magnóval, előre felvett távirat nagyobb sebességgel való leadására. A hangfrekvenciás kompresszor/limiter a magnó esetleg ingadozó jelszintjét szabályozza. Az adóhoz számos kiegészítő egységet, perifériát lehetett csatlakoztatni, amely nagyobb sebességű adást, illetve előre rögzített távirat továbbítását is lehetővé teszi. Ezek az egységek persze nem tipikusan rejtett, ügynöki kommunikációra szolgáltak:

AK-20-A modulátor (kiegészítő, ML gyártmányú)
AK-20-Msp kazettás magnó (ML gyártmányú)
– külső magnó
JG-1 távíró (telex-) adapter, FSK üzemre
– lyukszalag olvasó és lyukasztó (FACIT gyártmányú)



22. ábra. Az AK-20-V vezérlőmodul (frekvenciaszintetizátor és meghajtó)

P/S-K paralel-soros interfész (ML gyártmányú)

S/P-K soros-paralel interfész (ML gyártmányú)

A STASI (egykori NDK államvédelem) számára is szállítottak AK-20 adókészülékeket, azokat a rádiókat „EGER"-nek nevezték. A kezelési utasítást és műszaki leírást lefordították németre **(24. ábra)**, ami angol nyelvű részletes ismertetővel együtt a www.cryptomuseum.org weboldalon elérhető.

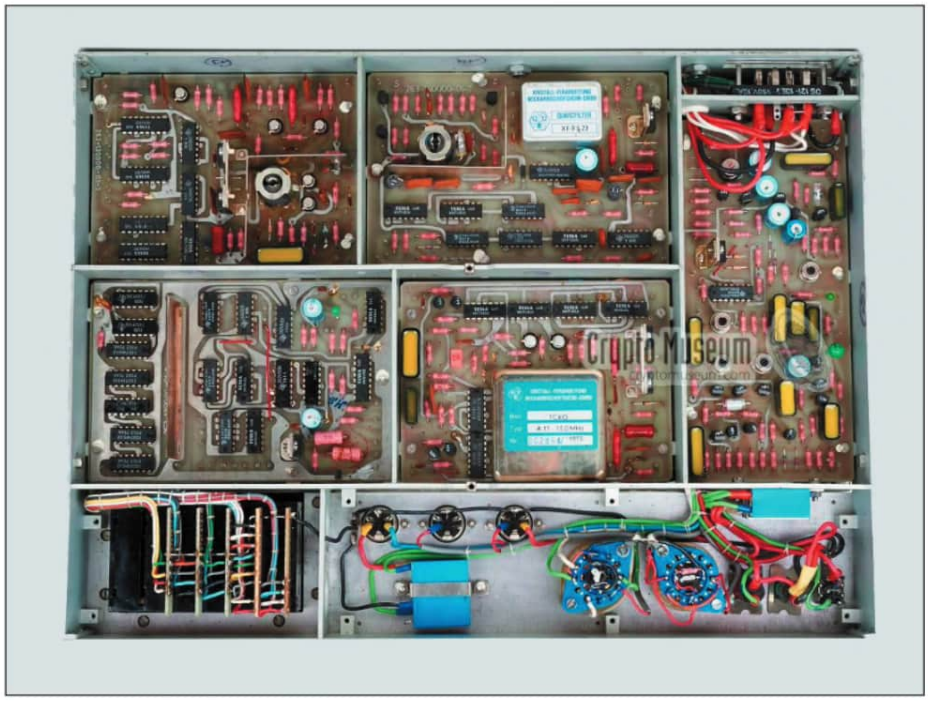
Az NDK belügyminiszter helyettesének 1984. nov. 6-án írt feljegyzésben az NDK hírszerző szervezet HA III. főosztályának vezetője arról számolt be, hogy ez idő szerint a BND (Bundesnachrichtendienst, a volt NSZK Szövetségi Hírszerző Szolgálata) 16-20 ügynöke áll rendszeres, kétoldalú rádió-összeköttetésben a BND központjával. Utal a feljegyzés arra, hogy a BND egy belső feljegyzése szerint a stay-behind ügynökök (Überrollagenten) száma a valóságban a nyolcvanat is elérheti. A feljegyzés szerint rádiós ügynökök egy-, ill. kétoldalú kapcsolatban állnak a BND központjával, a legmodernebb rádiókat használják, amelyek adáshoz lehetővé teszik a táviratok 800 baud sebességgel történő biztonságos továbbítását.

Itt érdemes megjegyezni, hogy a feljegyzés keltezésének idejében használt ügynöki rádiók már 800 baudnál sokkal gyorsabb burst-adásokra voltak képesek (HARPOON FS-5000 2000 baud; AK-20 400, illetve 1000 baud).

A nagyobb adási sebességekre igencsak szükség volt, mert [9] szerint már 1971-ben a magyar felderítési (adás észlelési) átlagidő gyors-adások esetén 9,7 másodperc volt. 1972-ben az állomások keresésére és ráhangolásra átlagban 8,3 másodperc, az iránymméréshez 3 másodperc volt szükségen. Ilyen (és feltehetően mára még hatékonyabb) detektálási és iránymérési kapacitás mellett az ügynöki rádióadások felderíthetősége, az adó és kezelőjének azonosítása, lokalizálása szinte biztosra vehető. Némi időleges megoldást jelenthet ugyan műholdas összeköttetés (például MARISAT, THURAYA telefon) használata, de az ilyen összeköttetések is felderithetők.

A rendszeres vakadások, a központ-ügynök egyirányú rádióforgalom továbbra is észlelhető és élénk. A vételi oldalon lévő ügynökök kereskedelmi forgalomban kapható (megfelelően kiválasztott!) normál, kereskedelmi rádióvevő használata esetén rádiótechnikai módszerekkel nehezen felderíthetők.

Talán nem túlzó a megállapítás, hogy az ügynöki rádióadások tekintetében a felderítési technika fejlődése



23. ábra. Az AK-20-V belső felépítése (a frekvencia-beállító számkerekek a jobb felső részen)

24. ábra. A rádió német nyelvű kezelési utasítása és leírása

miatt a rövidhullámú ügynöki rádióadások alkalmazását veszélyesnek, s így idejétmúltnak kell tekinteni.

Ámbár...

Hivatkozások:

[1] Jongeren vinden wapenarsenaal van geheime dienst (www.mijngenderland.nl)
[2] Wim Kramer: Mysterie in Utrecht (RAM Radio Amateur Magazine no. 136, oktober 1992; 17-19. old)
[3] Wim Kramer: Mysterie in Utrecht na jaren opgelost (RAM Radio Amateur Magazine no. 191, október 1997; 32-35. old)
[4] Museum van de Verbindings-dienst van de Landmacht, Ede
[5] „Top Secret, For the Attention of 'PO Box 25, Forfar" (Short Wave Magazine, 2004. október, 68. old.)
[6] Christopher Andrew – Vasili Mitrokhin: The Mitrokhin Archive (Penguin Books, 1999)
[7] Fauth, J. J.: Adversary Agent Radios (CIA Studies in Intelligence, Vol. 10., No. 2. Spring, 1966, 56. old.)
[8] Novák András: Kémes ügyek, avagy akcióban a magyar titkosszolgálatok (Könyv, H. C. L. Ipari és Innovációs Kft., 2013. 42-47. old.)
[9] Dobák Imre: Rádiós ügynökök és elhárításuk (Magyar Rendészet 2013/3-4. 171-179. old.)

További olvasmányok:

Daniele Ganser: NATO's Secret Armies: Operation Gladio and Terrorism in Western Europe (London: Frank Cass, 2005).
http://www.enigma2000.org.uk (No. 118, May 2020)
http://www.numbersoddities.nl (vakadások)
http://www.cryptomuseum.com
https://www.tutorialspoint.com/principles_of_communication/principles_of_communication_modulation_techniques.htm
https://www.rfwireless-world.com/Terminology/SSB-modulation-vs-VSB-modulation.html

„Forrasztani csak pontosan, szépen... – ezekkel érdemes!"

SMA-50 csak **17.990 Ft**
Analóg forrasztóállomás
transzformátor + páka + pákatartó szivacssal

- 48 wattos gyors felfűtésű páka
- beállítható hőmérséklet: 150...420 °C
- hőálló szilikonkábel
- szilikongumi a markolaton
- szerszám nélkül cserélhető pákahegy

+ árban foglalt 4 db klf. pákahegy

Fahrenheit 28011 csak **25.990 Ft**
Digitális forrasztóállomás
transzformátor + páka + pákatartó szivacssal

- 24 V/48 wattos hőérzékelős, kerámia fűtőbetétes páka
- 150...450 °C pákahőmérséklet, digitálisan, folyamatosan beállítható
- fix hőmérséklet-állító gombok: 200/300/400 °C
- dupla LCD: kívánt/valós pákahőfok kijelzéssel
- rendelhető páka (2500 Ft) és pákahegyek (2490 Ft/4 db)

HAM-bazár **Budapest XIII., Dagály u. 11. I. emelet, folyosóközép H–P. 09–14 óra, csüt.: 09–17 óra**
Postán is elküldjük! (+36) 1 239-4932/36 m., 239-4933/36 m. 1550 Bp., Pf. 123 hambazar@radiovilag.hu 11

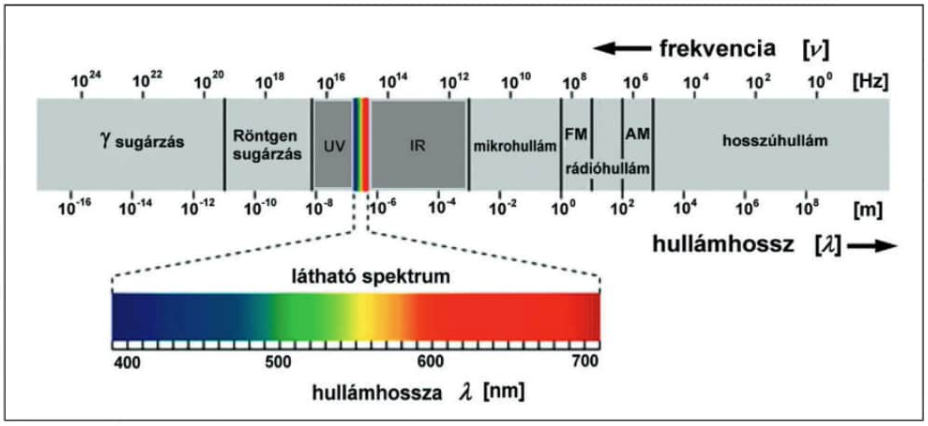
LED-ek, nem okvetlenül világítási célokra

Lambert Miklós okl. villamosmérnök, lambert@milambi.hu

A LED (fényemittáló dióda) az utóbbi évtizedek egyik legjelentősebb félvezető eszköze. Villamos áram segítségével fénysugárzást tud kelteni, mellékhatások nélkül, jó hatásfokkal. (Bár mellékhatásnak fogható fel a dióda „ohmos" részének hőtermelése, de ez nem része a fénykeltésnek.) Első felhasználási területe a jelzőfények hatékony alkalmazása, bár mára ez szinte „mellékes" alkalmazás, mert nagyon hamar a világítástechnika eszközévé vált. Kisebb felhasználási volumenű, de nem kevésbé fontos terület a nem világítású célú LED-alkalmazásoké. Cikkünkben ezzel foglalkozunk.

1. LED-ek felosztása spektrum szerint

A LED, mint elektronikai alkatrész, hasonló műszaki paraméterrendszerrel jellemezhető, mint egy tranzisztor, vagy bármely más félvezető alkatrész. Egy alkalmazáshoz a megfelelő LED műszaki adatai nagyon fontosok (pl. villamos üzemi- és határadatok, fényáram, sugárzási szög, termikus ellenállás stb.), de cikkünk szempontjából alapvető fontosságú a sugárzási spektrum. Mint a LED-ek fizikájából ismeretes, a rekombináció folyamata során keletkező sugárzás viszonylag szűk spektrumban történik, azaz a LED-fénynek színe van. (mint ismeretes, fehéren sugárzó LED nincs, az összetett fehér fény több komponens keveredéséből jön létre, ezzel itt nem foglalkozunk).



1. ábra

A fény elektromágneses sugárzás. Hogy hol helyezkedik el spektrumtartománya a teljes rendszerben, arról az **1. ábrából** tájékozódhatunk. Cikkünk szempontjából a látható spektrum két szélén található IR és UV (azaz infravörös és ultraibolya) hullámhossz-tartomány a fontos, bár a növénynevelő fénytartomány jó része a látható szegmensben van (ami az ember számára általános világításra nem alkalmas).

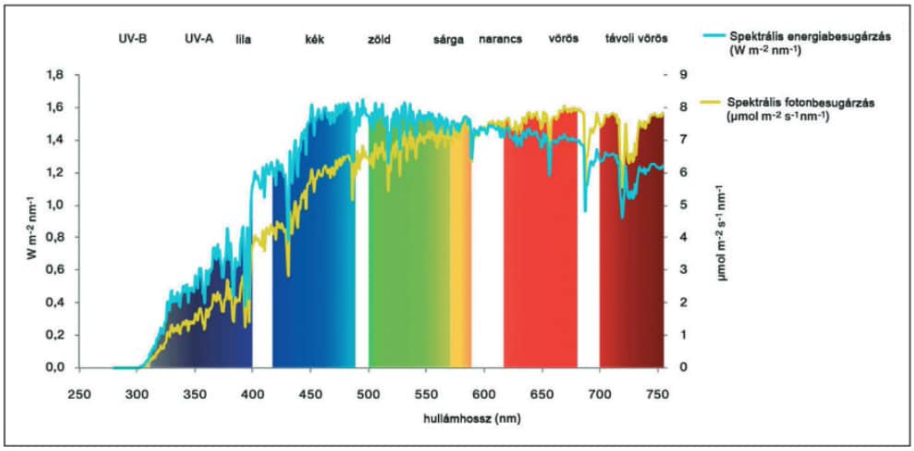
Az infravörös, a látható és ultraibolya tartományt együttesen *optikai színképnek nevezzük*. Szigorúan fénynek csak a látható tartományba eső sugárzást szoktuk tekinteni, bár az emberi szem számára láthatatlan tartományba eső sugárzást egyes állatok érzékelik. Az ultraibolya és infravörös tartományt további *A*, *B*, *C* sávra osztják, amelynek határai nem szigorúak (**1. táblázat**).

A LED, mint fénykeltő eszköz viszonylag szűk spektrumban sugároz, ezért az egyes alkalmazások számára más-más hullámhossztartományú sugárzókat használnak. Ez természetesen nemcsak a spektrumra igaz, hanem a LED teljes felépítésére, egyedi tulajdonságait a kívánt paraméterekre kihegyezik. Így pl. infravörös hangátvitelre olyan LED-eket fejlesztenek ki, amelynek lesugárzott teljesítménye, sugárzási szöge a kívánt célt szolgálja, és habár növénynevelési sugárzókba elvileg a kommersz LED-ekből össze lehet állítani az alkalmas színösszetevőket, szakcégek gyártanak a célra legjobb paraméterekkel rendelkező típusokat, összeállításokat, ezeket jelezzük az adott helyen.

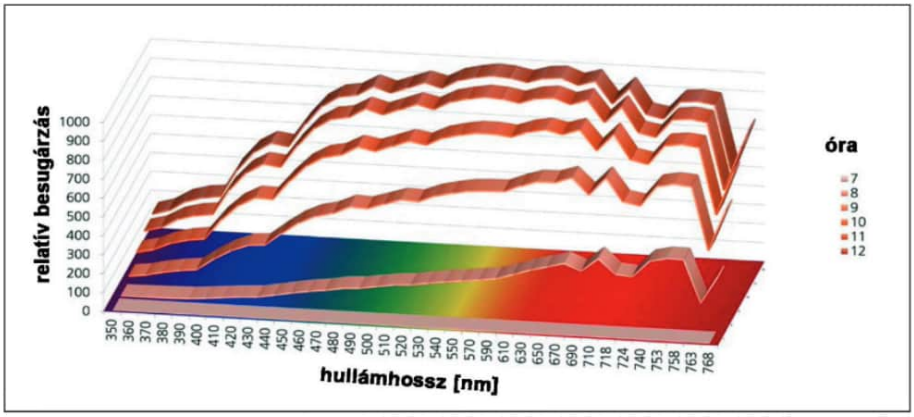
A LED-es sugárzórendszerek összeállításához érdemes kiindulni a napsugárzás spektrális eloszlásából (**2. ábra**). A napsugárzást nem egyenletes színspektrumban észlelhetjük, a nap folyamán változik összetétele, amelyet színhőmérséklettel jellemezhetünk. A **3. ábra** a nap spektrális színösszetételének változását mutatja reggel 7 és déli

Megnevezés	Hullámhossz-tartomány, nm	Megjegyzés
Ultraibolya		
UV-A	315…400 nm	Pigmentképződés
UV-B	280…315 nm	D-vitaminképzés
UV-C	100…280 nm	Veszélyes, rákkeltő, ózonkeltő
Infravörös		
IR-A	780…1400 nm	Közeli infravörös
IR-B	1400…3000 nm	Közepes infravörös
IR-C	3000…1 000 000 nm	Távoli infravörös

1. táblázat



2. ábra



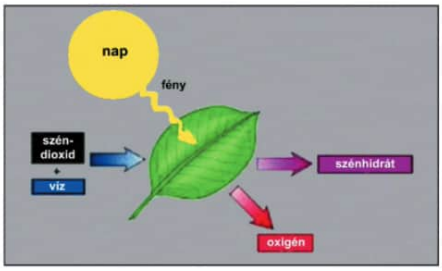
3. ábra

12 óra között. Ha LED-es növényvilágítási rendszerünket tökéletesíteni akarjuk, érdemes időkapcsoló rendszerrel a színösszetételt is változtatni.

2. LED-ek hortikulturás célra

2.1. LED-ek növénynevelési célra

A földi élet alapját a növények teremtik meg a fotoszintézissel, amely során a szervetlen vízből és szén-dioxidból a nap fotonsugárzása révén szerves anyagot, szénhidrátot és mindezek elégetéséhez oxigént állít elő. A fotoszintézis elvét és a folyamatot a **4. ábra** szemlélteti. A LED-ek spektruma hasonló a napfényhez, több LED-ből kikeverhető a növények élettére legjobban ható tartományok, tehát a LED-ek a növények életére is befolyással vannak.



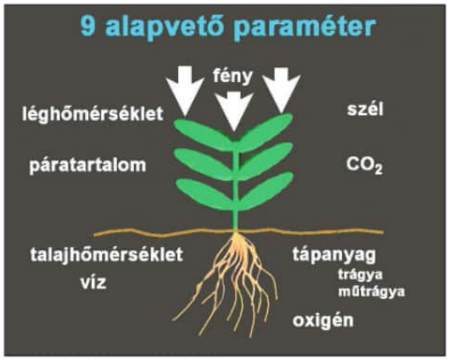
4. ábra

Mára ez tudományággá fejlődött, önálló angol neve a *Horticulture*, cikkünkben egyszerűen *kertészeti világítás*nak nevezzük. Már korábban megfigyelték, hogy az élőlényekre milyen hatással van a fény. Ismeretes, hogy pl. csirkék állandó világítás alatt gyorsabban fejlődnek (bár állatvédők intelmei figyelemre méltók), növényekre is igaz, csak azok fejlődése nem olyan látványos. Feljegyzések szerint a világon először az amerikai *Sylvania* fejlesztett ki 1962-ben (akkor még nem LED-ekből, hanem kisülőcsövekből) lámparendszert a növények növekedésének elősegítésére, mára már cégek sora gyárt LED-ekből világítórendszereket kertészeti célokra. Gyermekkoromban a zöldségek, gyümölcsök szezonális termékek voltak, februárban nem tudtak olyan zöldpaprikát, vagy salátát termeszteni, még fóliasátorban sem, mint manapság, a LED-es kertészet gyakorlattá válásával. A LED-ek további előnyöket biztosítanak: a besugárzás erőssége szabályozható, a színösszetétel (színhőmérséklet) napszak szerint változtatható, nem termel számottevő járulékos hőt, jó hatásfokú és környezetkímélő hatású. Nagyüzemben viszonylag kis beruházással lehet létrehozni termelő bázisokat, de kicsiben is meghökkentően jó eredményeket lehet elérni, akár amatőr szinten is. Lássunk ebből példákat!

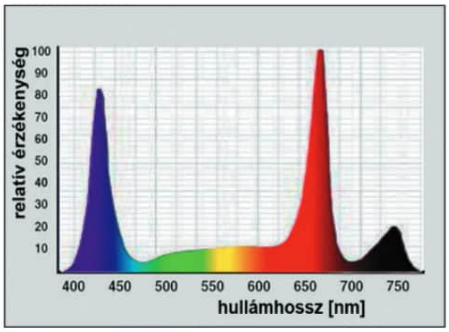
Mint a **4. ábrából** kitűnik, a folyamat lényege a fotoszintézis, amely a földi élet alapja. A tudomány feltárta az összefüggéseket, hogy a foton hogyan termel molekulákat a fotoszintézis során. Cikkek sora érhető el az interneten a LED-es kertészeti megoldásokról, főleg angol nyelven, amelyben az egyes fogalmakat (jó amerikai szokás szerint) rövidítve írják, nehéz az eligazodás. Először áttekintjük a fogalmakat és rövidítésüket.

A fotoszintézist kiváltó aktív sugárzást (*Photosynthetically Active Radiation*: PAR) valamilyen adott termesztési térre, termőterületre értjük, spektrumtartománya: 400…700 nm. A sugárzás fizikai mértékegysége a watt vagy lumen, de a növénytermesztésben a sugárzás eredményeként keletkező élőanyag molekulája a mértékadó, azaz a fotoszintetikus fotonfluxus (*Photosynthetic Photon Flux*: PPF), amelynek egysége a µmol/s, azaz a másodpercenként generált PAR fotonok összmennyisége. Természetesen érdekes a végső soron a villanyszámlára kiható mennyiségi egység, a *Photosynthetic Photon Flux Efficiency:* PPF/W is, azaz a fotoszintézist előidéző fotonfluxus hatékonysága, amelyet µmol/W-ban, vagy µmol/J-ban mérünk. A LED-es megvilágítás méretezéséhez használatos még a fotoszintetikus fotofluxus-sűrűség (*Photosynthetic Photon Flux Density:* PPFD), azaz a másodpercenként 1 m^2-re eső PAR fotonok összmennyisége. Mértékegysége: µmol/m^2s. Összehasonlítási alapul pedig érdekes még a nappali integrált fénymennyiség (*Day Light Integral: DLI*), amely a PAR fotonok 1 m^2-re eső mennyisége egy teljes nap alatt.

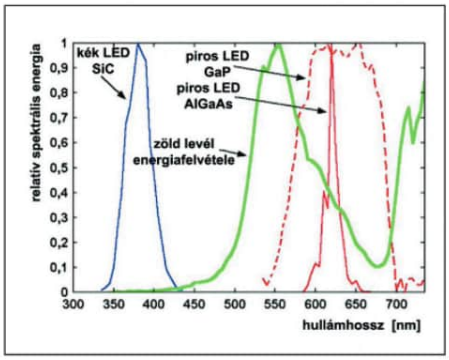
A nagyságrendek érzékelésére: 1 mol élőanyag molekulájához $6{,}023 \cdot 10^{23}$ foton szükséges. A fotoszintézis viszonylag kis hatásfokú energiaátalakulás, a besugárzott energia 4…6%-a válik biomasszává. Ilyen körülmények között működik és él a Föld évmilliárdok óta… A növények szerves anyagát tovább dolgozzák fel az állatok és az ember.



5. ábra



7. ábra



8. ábra

De hogyan is történik valójában a fotoszintézis a (nap)sugárzás, azaz fotonsugárzás hatására?

Nem célunk a cikkben mélyebb tudományossággal ismertetni az élettani folyamatot, de a LED-es sugárzók megtervezéséhez az alapvető folyamat ismerete szükséges. A sikeres fotoszintézishez 9 feltételnek kell teljesülnie, amelyet a **5. ábra** mutat.

A növény alsó része a táptalajban a gyökérzet révén helyezkedik el, amelynek kellő hőmérséklete, víztartalma és oxigéntartalma mellett tápanyagot (szerves trágyát, és/vagy műtrágyát) kell tartalmaznia. Ez a feltétel egyik részét adja, amely kapilláris hatás folytán a szabad levegőn elhelyezkedő levélzetbe kerül, amelyet a fény fotonjai bombázzák, és ennek során kellő hőmérsékleten és páratartalommal a széndioxid (amelyet szél mozgat) oxigén felszabadulással szerves anyaggá változik. Hogyan történik ez?

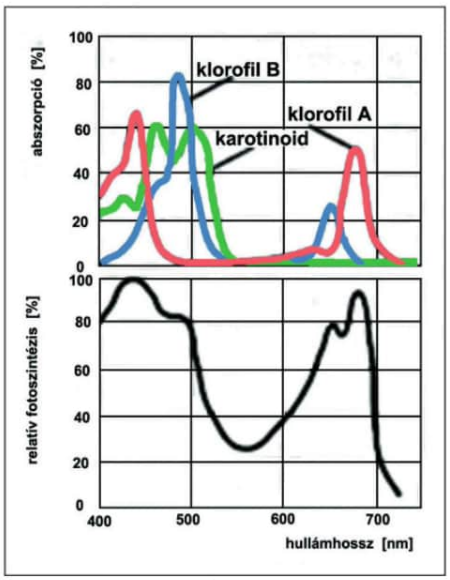
A növények levélanyagában pigmentek és fotonérzékeny receptorok fogadják a fotonokat, és háromféle alapanyag keletkezik, a *klorofill A*, a *klorofill B* és a *karotinoid*, amelyek a további élettani folyamat során kialakítják a növényt. A folyamatot a **6. ábra** diagramja szemlélteti.

Az ábrából látszik, hogy a növény nem hasznosítja a teljes színskálát, a zöld hullámtartományból kicsi az igénye. Az újabb kutatások azonban kimutatták, hogy az alapvető fotoszintézis mellett a növények életére kis mértékben hatással van a zöld fénytartomány is, különösen a mások árnyékában élő növényekre, de erősen befolyásolja a távoli vörös fény spektruma is. Mára a vezető gyártók sora gyárt erre alkalmas sugárzót (pl. a Sylvania Gro-Lux lámpája). A növénynevelésre alkalmas kiegészített fényspektrumot a **7. ábrán** láthatjuk.

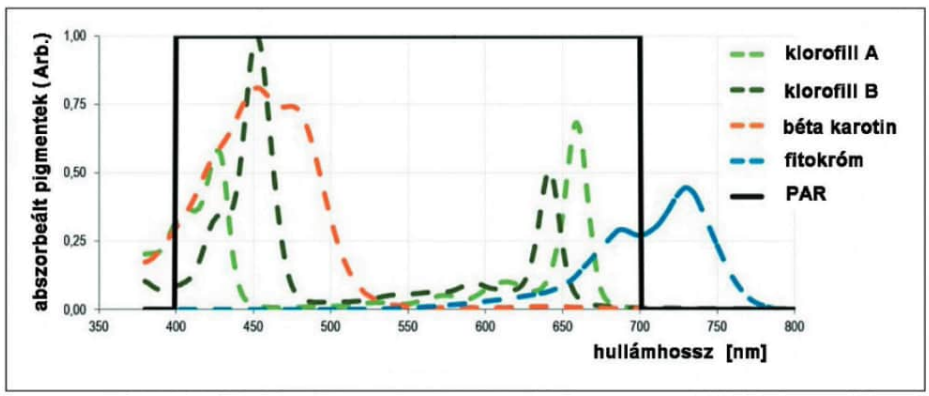
A fekete színnel jelzett spektrumtartomány a távoli vörös és láthatatlan infravörös határán található. A hortikultúrás célra e szerint összeválogatott LED-ek sugártartományát és a levelek ebből hasznosított tartományát mutatja a **8. ábra.** Szakirodalmi adatok szerint növényvilágítási célra a **9. ábra** szerinti spektrumdiagramú sugárzótest ajánlott (PAR tartomány). Ennek alapján magunk is összeállíthatunk világítótestet.

Mi a lényege a növénynövekedésnek? Csak a fotoszintézis? Közel sem, hiszen a növények helyhez kötött életmódja miatt nem tud elmozdulással a jobb életfeltételhez igazodni (a táplálék után járni), ezt a fotoszintézis változtatásával érik el. A hatékony fotoszintézishez három tényező fontos: a fény intenzitása, azaz a kellő fotonmennyiség, a fotoperiodizmus, amely a megvilágítás időtartamát jelenti, és a fény minősége, azaz a spektrum. A fotonokat a levél élő sejtjeiben levő szenzorelemek, azaz a pigmentek, mint receptorok érzékelik, amelyek hullámhossz-érzékenyek. Kétféle fotoreceptor létezik (ezeknek többféle alfaja, amelyekkel itt nem foglalkozunk), a kriptokrómok és a fitokrómok. A kriptokrómok a kék/UV-*A* fényre érzékenyek, és a növény fototropizmusáért és fotomorfogeneziséért, vagyis az alapvető életfolyamatokért felelősek, míg fitokrómok a távoli vörös fényt érzékelik, amely a növény környezeti alkalmazkodásáért felelős. A **10. ábrán** a növények fő pigmentjeinek tipikus abszorpciós spektrumai láthatók.

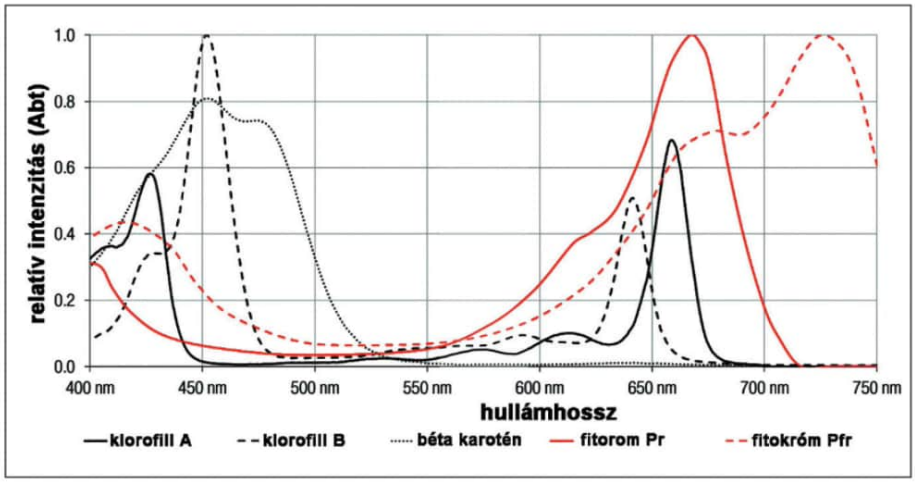
A fitokróm rendszer két fitokróm formulából áll, amelyek abszorpciós hullámhosszukban különböznek. A *Pr* elnevezésű vörös fitokróm abszorpciós maximuma 660 nm-en, a *Pfr* jelű távoli vörös abszorpciós maximuma pedig 730 nm-en van. Érdekes módon azonban *Pr* és a *Pfr* reverzibilisen képes átalakítani a növény molekuláris szerkezetét a vörös és a távoli vö-



6. ábra



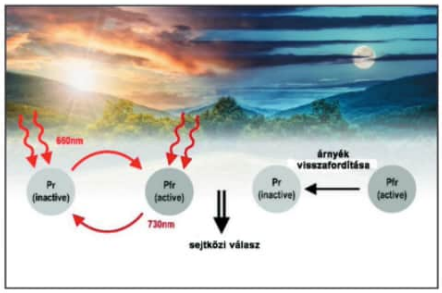
9. ábra



10. ábra

rös hullámhossz arányától függően. A rendszer működését a **11. ábra** mutatja.

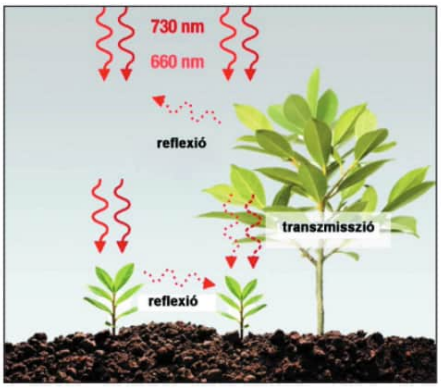
A *Pfr* fotoreceptorok fiziológiailag aktív, biológiai reakciókat kezdeményeznek, de instabil. Ha csökken vagy hiányzik a 660 nm-es fény, a rendszer visszatér a *Pr* formára, és megfordítva is. A vörös/távoli vörös hullámhosszak különböző arányai kiválthatják azokat a biológiai utakat, amelyek képesek je-



11. ábra

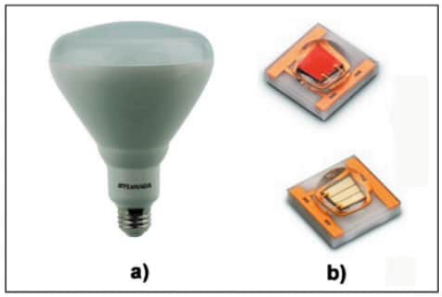
lentősen befolyásolni a növények kívánatos tulajdonságait.

A fitokróm rendszer sokféle molekuláris folyamatot irányít, amelyek számos morfológiai változást eredményeznek, amelyek lehetővé teszik a növények számára alkalmazkodni



12. ábra

fénykörnyezetéhez. Ezek a vörös és távoli fényre adott válaszok a környezetre adott válaszként és bizonyos esetekben alakultak ki túlélési módszerek. Ilyen például az árnyékkerülő rendszer, ha egy növény nem kap elég fényt. Ez lehet akár egy szilárd tárgy (eltakarja az összes fényt) vagy más növény, a növény elhajlással próbálja a rossz hatást elkerülni, vagy például a napi és szezonális fény változásai, illetve a hőmérséklet és páratartalom változásai, a növény a növekedési reakciójával védekezik a körülmények változására. A fotoperiodizmus és cirkadián ritmus kezeléséért is a fitokróm rendszer a felelős. Szabályozza a vegetatív fázist (növekedés) és reproduktív fázist (virágzás). Még bőven kutató fázisban van ezek hatása, ezért vállalkozó kedvű amatőrtársaimnak bátran hívom fel figyelmüket, hogy a világítóstestben elhelyezett megfelelő LED-ek csodákra képesek, növényünk a kellő időben virágzik, kellő magasságra nő szép egyenes szárral, a zöldség íztartalma befolyásolható, amit régen csak meg-

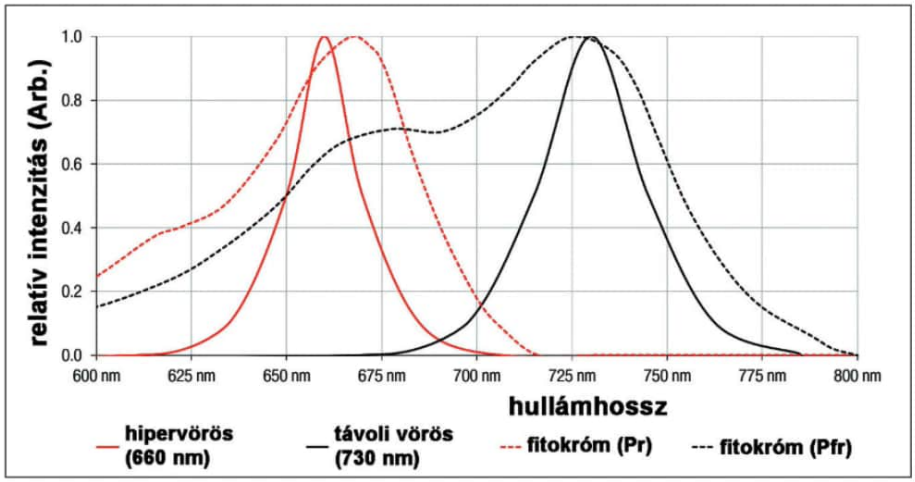


13. ábra

felelő műtrágya alkalmazásával érhettünk el! A **12. ábra** érzékelteti, hogy magas és alacsony növények hogyan viselkednek a vörös és távoli vörös fény arányában. Számtalan tanulmány számol be az eredményekről, a kertész csak a megvásárolt világítótestekkel operálhat, az elektronikai hobbista pedig képes megfelelő sugárzót alkotni. A vörös és a távoli vörös visszavert és átadott fény útját is ezen az ábrán követhetjük.

Számos tanulmányt olvashatunk a *Cree*, a *Sylvania*, sőt, újabban a más alkalmazási területről híres, és növénynevelő LED-es világítótestek fejlesztésében sikereket felmutató *Würth* kiadványaiban. A **13. ábrán** a Sylvania „villanykörte" foglalatú távoli vörös LED sugárzóját és a Würth hasonló célú LED csipjeit mutatja.

A **13.a ábrán** a Sylvania Gro-Lux lámpája látható, amely kitűnik vörös és távoli vörös spektrumú fénytartalmával, fogyasztása mindössze 17 W, és 1100 lumen/39 µmol/s fotonsugárzásával a növénynevelő világítás hasznos része lehet, 115°-os sugárzási szögével széles területet bevilágít. A **13.b ábrán** a Würth két csipje látható, a *fitokróm Pr*, azaz a 660 nm-es, ill. a *fitokróm Pfr*, azaz a 730 nm-es hullámhosszra, magunk készítette növényvilágító



14. ábra

LED-család	LED- típus	LED-szám	Áram mA	Réteghőmérséklet °C	Nyitóirányú feszültség mV	Felvett teljesítmény W	Optikai teljesítmény W	Hatásfok %	PPF µmol/s (400… 700 nm)	PF µmol/s (300… 830 nm)	PPF/W (400… 700 nm)	PF/W (300… 830 nm)	PF% 300… 830 nm
COB hortikultúra	CLM-22-HM-6136-AC30	500	1000	120	17194,49	17194,49	7177,42	41,74	32115,34	35786,11	1,87	2,08	99,96
SST UV	SST-10-UV (385 nm)	10	200	85	31,94	6,39	4,01	62,76	2,22	13,04	0,35	2,04	0,04
Összes	-	510	-	-	-	17200,88	7181,43	41,75	32117,56	35799,15	1,87	2,08	100,00

2. táblázat

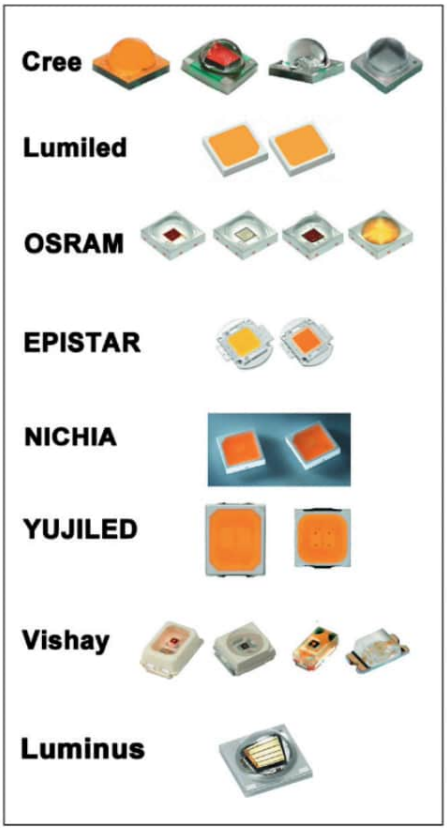
LED-sugárzóhoz. A LED-ek sugárzási spektrumát és a növény abszorpciós képességét a **14. ábra** diagramja mutatja.

A termelők számára előnyös, ha külön vezérelhetik a 730 nm-es LED-eket, és igényeiknek vagy beállított minőségi paramétereiknek megfelelően állíthatják be azokat. A céltól függően van értelme, hogy a 730 nm hullámhosszú LED-ek külön-külön áramkörben legyenek szabályozhatók.

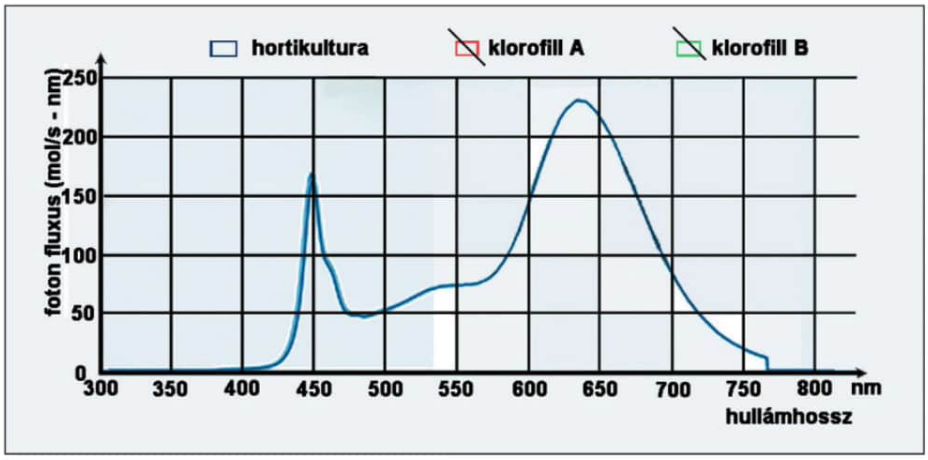
Sokféle kertészet létezik, az otthoni, virágcserépben keltetett paprikamagtól a hatalmas üvegházig minden használatos, és a LED-es világítás mindenhol alkalmazható, persze a beruházás összege a méretektől és az elrendezéstől erősen függ. A főbb elrendezési formákat összefoglaljuk. Meg kell jegyezni viszont, hogy a speciális növényvilágító piros és kék LED-ek mellett használnak fehéret is, mert a növények kezelése (locsolás, metszés, terménybetakarítás) látást igényel. A piros és kék fényben tartósan tartózkodni káros hatással van látásunkra, ráadásul a zöld fény hiányában éppen a zöld növényeket látjuk rosszul, így kiegészítő fényként, vagy teljes átkapcsolással fehér fényben lehet a munkálatokat végezni olyan nagyobb méretű üvegházakban, vagy zárt helyiségekben, ahova a külső fény nem, vagy gyengén jut be. Azok a LED-gyártó cégek tehát, amelyek növénynevelési célra speciális LED-családokat gyártanak, a választékba fehéren sugárzó LED-eket is helyeznek, megkönnyítve a lámpatest konstruktőrök munkáját, az azonos beültetési méretekkel. A **15. ábrán** láthatunk néhány SMD tokozású LED-et mintaképpen. A választék természetesen ennél jóval nagyobb, és más tokozási formák is vannak.

Különlegességnek tűnhet a *Vishay* kínálata. A cég nem tartozik a LEDcsipgyártók széles körébe, de tokozott alkatrészei nem maradnak el az élvonaltól. A **15. ábrán** bemutatott 4 LED közül az első kettő szokványos miniLED és PLCC tokozásban készül, a második kettő viszont valódi SMD, 0402 és 0603 méretben, ami ritkaságnak számít. Ez különleges, jól méretre szabható világítótestek tervezését teszi lehetővé. A gyártmánysort persze kiegészítik egyéb tokozási formák (pl. Telux és műanyaglencsés dóm formák, kimagasló, 35500 mcd fényárammal), és akár normál Ø3 mm-es és Ø5 mm-es hagyományos tokok, valamint RGB multicsipes modul PLCC tokozásban is, hogy a környezeti világítást és a programozott megvilágítást is meg lehessen oldani.

Nem véletlenül került az utolsó sorba a *Luminus* LED. Ez az amerikai cég nem olyan régi világvezető, mint a Cree, vagy az *Epistar*, de különleges LED-jeivel az élvonalba küzdötte magát. Köszönhető ez annak, hogy különleges gyártmányaival megpróbál minden igényt kielégíteni. Így hortikultúrás célra három típusnagyságban is elérhetők a LED-jei, a kis SMD méretben, a közepesen nagy méretben (~1W), és a COB multicsipes integrált megoldásban, ráadásul precíziós fénypor-adagolásának megfelelően a hortikultúra kívánatos spektrumában. Fontos tényező még a sugárzási szög is, 90°-os, valamint 120/130°-os tokozásban is rendelhetők.



15. ábra



16. ábra

17. ábra

A spektrumot is a növénynevelési igényekhez igazították, a Luminus 450 nm-es mélykék és 660 nm-es mélyvörös LED-jeivel fényt szolgáltatnak a fotoszintézishez, a 730 nm-es vöröset a növény életciklusára használják a csírázástól a vegetatív növekedésig és a virágzásig. Az emberek számára kényelmesebb munkakörnyezet biztosítása érdekében a Luminus egy kertészeti fehér LED-et kínál, amely a kék spektrum növelésére és a mérnöki lehetőségek bővítésére is használható. A gyártmányválaszték különlegessége (más gyártóknál ezt nem tapasztaltam), hogy PPF-re (azaz fotonnyerési faktorra) is lehet válogatni.

A választás megkönnyítésére a https://www.luminus.com/applications/horticulture honlapon számítói felület áll rendelkezésre: a kívánt LED-család kiválasztható adott spektrum, teljesítmény és néhány villamos adat megadásával, majd a számítás gombra nyomva a program kiszámítja, hogy miből mennyi kell, és felrajzolja sugárzási spektrumát. A **2. táblázaton** próbaszámítást láthatunk egy kék és egy vörös LED-szín alkalmazásával (ami csak próba, nem kötődik egyetlen növényhez sem). Ezt többnyire nem a villamos szakember indítja, a kívánt spektrumot a növénybiológus határozza meg, de a lámpa méretezése és megtervezése a konstruktőr

Fotonfluxus-tartomány, nm	µmol/s	PAR, %	Foton, %
PPF: 400…700	32117,56	100,00	89,72
PPF: 400…500	5312,26	16,54	14,84
PPF: 500…600	7751,48	24,13	21,65
PPF: 600…700	19233,91	59,89	53,73
PF_{FR}: 700…800	3771,70	-	10,54
PF_{UV}: 300…400	23,99	-	0,07
$PF_{összes}$: 300…830	35799,15	-	100,00

3. táblázat

18. ábra

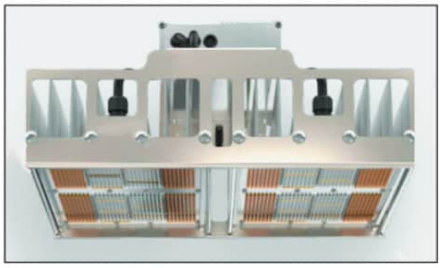
feladata. Ezen az alapon a piac által legjobban igényelt növények neveléséhez optimális növekedést biztosító egyedi lámpa méretezhető. A **3. táblázat** a megvilágítások fotontartalmát tartalmazza, amelyre a növényszakértőnek van szüksége. A próbaadatokkal elkészített világítótest spektrális sugárzását a **16. ábra** szemlélteti.

Tudjuk jól, hogy barkácsolási tettre vágyó amatőrtársaim az anyagválasztékból fellelkesülve fognak építésbe, de sokan vannak, akik erre nem vállalkoznak, illetve szívesebben megvásárolják a készet, ami sokszor olcsóbb, mint az anyagár és ráadásul kipróbált. Ezért bepillantásképpen bemutatunk néhány világítótestet, tápegységet, amelyek akár ötleteket is adhatnak a fejlesztőknek komplex megvilágító-rendszer és elrendezés kialakítására.

Három alapvető lámpatest-típust különböztethetünk meg: a pontsugárzót (többnyire lámpafoglalatos), a rúdelrendezésűt (a fénycsövek mintájára, bár erről lassan leszokik az ipar, mert fénycsövek foglalatjába dugva áramütésveszélyt rejt magában), és a nagy lámpatestet.

A **17. ábrán** pontsugárzó növénynevelő lámpákat láthatunk. Kedvelt lámpafejek az E27 (esetleg E14), a GU10 és az MR16, amelyek a hagyományos halogén izzók kedvelt formái. Láthatóan többféle elrendezésben ültetik be a különböző színű LED-ekkel. Igényesen kialakított növénynevelő kertben ilyen lámpákból többáramkörös rendszert lehet felépíteni, amivel napszaknak és egyéb környezeti feltételnek megfelelően változtathatjuk a besugárzás eredő spektrumát. Főként növénykoronák közvetlen besugárzására alkalmas világítást lehet így kialakítani.

A rúdsugárzó egy mintáját mutatja a **18. ábra.**



19. ábra

Alkalmazhatjuk függőleges helyzetben, futó növények (bab, uborka) oldalsó megvilágítására, vagy vízszintesen, magaságyásos ültetvényen. Itt is lehet a színekkel operálni.

Nagy ültetvényen, fóliasátorban, vagy üvegházban nagyméretű mennyezeti besugárzás kell, erre alkalmas lámpatest egy tipikus példája a **19. ábra.** Mérete gyártótól függ, lehet akár több méteres is, és lényegében sok párhuzamos vonalsugárzó összeépítésével alakítják ki. Teljesítménye 100 W-on felüli, így célszerű hűtőventilátorról is gondoskodni, azt többnyire beépítik. A nagyméretű növénysugárzó többnyire sokféle LED-ből épül fel, napszaknak, a növény növekedési fázisának és egyéb hatásoknak megfelelően kézi kapcsolással, vagy programkapcsolóval válthatjuk a megfelelő spektrumot.

20. ábra

A különböző sugárzókra a gyártó megfelelő meghajtó tápegységeket ajánl. A pontsugárzókba (a „villanykörtébe") egyedileg beépítik, csak a hálózati kábeleket kell kiépíteni. A vonalsugárzók, ill. a komplett lámpatestek külön meghajtó tápegységeket igényelnek, a színváltáshoz programkapcsolókkal lehet a kívánt célt elérni.

A továbbiakban tekintsük át, milyen kialakításban használjunk LED-es világítást növényeink neveléséhez!

2.1.1. Üvegházak

Az üvegházi elrendezés hagyományosnak tekinthető. Ilyenkor a LED-es sugárzók a mennyezeten helyezkednek

21. ábra

el, és egyenletesen besugározzák a növényeket. Főként nagymennyiségű, sűrű ültetésű ültetvényeken használják, viszonylag nagy energiaigényű és kemény beruházás, ezért főként meglevő üvegházak LED-esítésére használják. Tipikus üvegházi elrendezést mutat a **20. ábra.**

2.1.2. Függőleges megvilágítás

Főleg futónövényeknél alkalmazható előnyösen (bab, bogyósgyümölcsűek, virágok). A függőleges rúdra, huzalra felfutó növényeket oldalsó LED-sugárzók világítják, minden növény egyenletes megvilágítást kap. A **21. ábra** mutat egy megoldást.

2.1.3.Közvetlen függőleges megvilágítás

Ez a megvilágítási mód a legkisebb beruházással megvalósítható, polcos

22. ábra

elrendezéssel. Az alacsony növésű (bokros) növények közvetlen közelről kapnak megvilágítást, nagyon hatékonyan. A magaságyás-szerű elrendezést célszerű üvegházban, fóliasátorban elhelyezni. Egy lehetséges megoldást mutat a **22. ábra.**

2.1.4. Növénykoronán belüli megvilágítás

Kisméretű gyümölcs (pl. földieper), zöldségfélék kedvelt megvilágítási elrendezése, hogy a növénykorona közvetlen közelről kapjon fényt, felülről és oldalról. Gazdaságos és hatékony. Egy lehetséges elrendezést mutat a **23. ábra.**

Ma már sok cég foglalkozik hortikultúrás technikával, gyártanak alkalmas sugárzókat és táprendszereket, érdemes tanulmányozni tanácsaikat, tapasztalataikat. Olvasóinknak két nagy céget ajánlunk, az amerikai *WPG*-t és a finn *Valoya*-t. (http://www.wpgamericas.com/ és www.valoya.com).

A megfelelő világítás mellett fontos a szellőztetés is. Gondoljuk meg, hogy a fotoszintézis során a levegő szén-dioxid tartalma fogy, oxigénben viszont dúsul, azt cserélni kell a környezeti levegővel. Zárt térről lévén szó, megfelelő kéményhatású természetes szellőzést célszerű biztosítani, ami csak igen nagy méretekben lehetséges (gyárkémény), egyszerűbb esetekben ventilátoros szellőzést érdemes megvalósítani. Professzionális cégek az egész rendszerre (locsolóvíz adagolására is) fel vannak készülve, korszerű egységet mikroprocesszoros vezérlés irányít, ebbe már könnyűszerrel belefér a 3. ábra szerinti napszaki világításvezérlés is. Ilyenkor nem árt, ha a földmunkához szokott parasztember megbarátkozik a menürendszerrel vezérelhető programozás tudományával is. (Rádióamatőr kertésznél persze fordított a helyzet ☺.)

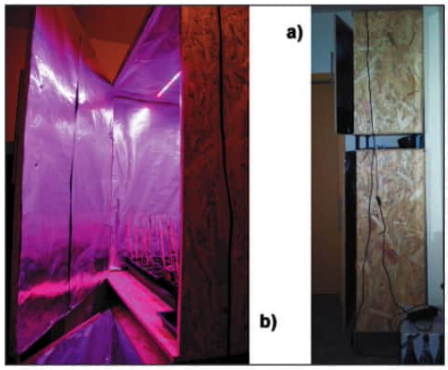
Szinte valamennyi LED-gyártó gyárt növényvilágítási célra LED-eket. Talán a legnagyobb a Cree, de a távolkeleti gyártók termékei is sikeresek (*Samsung*, Epistar, *Sharlight*). Figyelemre méltó a Sylvania közelmúltban megjelent Gro-Lux lámpája, és az eddig főként ferritmagjairól ismert Würth, amelyek LED-jei a távoli vörös (455 nm) színtartományban is sugároznak, bővítve ezzel a növények sugárzásigényét a növekedési fázisban.

Milyen LED-eket célszerű alkalmazni? A katalógusok adatlapjai tartalmazzák a különböző gyártmányok min-

23. ábra

den paraméterét, ezért általánosságban mondhatjuk, hogy a 2. táblázat figyelembevételével bármely gyártó kínálatából összeválogathatjuk a megfelelő típusokat. Problémát okozhatnak viszont a tokozási különbözőségek amelyek a panel tervezésében gondokat okozhatnak, különös tekintettel az egyes LED-ek hőellenállás-különbözőségére. Azért a nagy gyártók hortikultúrás célra azonos tokozási formában gyártanak LED-eket.

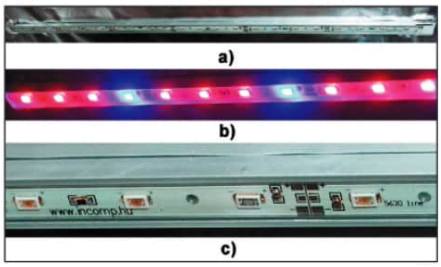
Bár a kutatások folynak, a szakirodalom bőséges az egyes növények fejlődésére kedvezően ható LED-es színtartományok beszámolóiban. Tény, hogy egységes „recept" nincs, adott növényhez kikísérletezett megvilágítással lehet jó eredményt elérni, a spektrumot, fényerősséget és sugárdózist rögzítve és figyelmen kívül nem hagyva a járulékos körülményeket, mint a hőmérsék-



24. ábra

Hullámhossz-tartomány, nm	Hatás
200…280	Káros UV sugárzás, ne használjuk növénynevelésre, szűrjük ki a sugárzásból!
439	Kék sugárzás csúcshullámhossza a *klorofill A* képzéséhez
450…460	Királykék sugárzás a *béta-karotin* képzéséhez
469	Kék sugárzás csúcshullámhossza a *klorofill B* képzéséhez
430…470	Sugártartomány a vegetatív növekedést serkentő *A* és *B klorofill* képzéséhez
480…485	A *béta-karotin* másodlagos abszorpciós hullámhossz tartománya
525	Ez egy olyan fototróp aktivátor, amelynek a kromoforát a tudósok még mindig keresik. A növények nyilvánvalóan irány- és környezeti jeleket vesznek belőle, és hatással van a sejtcsoportok csomóközi távolságaira. Az 525 nm éppen megegyezik a GaN vagy InGaN alapanyagú, RGB és hangolható alkalmazások tömkelegében használt zöld LED-ek által kibocsátott hullámhosszal
590	A *karotinoid* (keményítőt raktározó szerkezeti anyag) felszívódásának kulcsfontosságú hullámhossza, valamint a *fikoeritrin* egyetlen abszorpciós hullámhossza
625	A *fikocianin* egyetlen abszorpciós hullámhossza
642…645	A *klorofill B* abszorpció csúcs-hullámhossz tartomány
660	„Szuperpiros” hullámhossz a virágzás elősegítésére
666…667	A *klorofill A* felszívódását elősegítő hullámhossz
700	Elkerülendő hullámhossz, amely megzavarja a *fitokrómot* újrahasznosító rendszereket a zöld növényekben
730	A „far red” színű, vagyis a látható spektrum legszélső vörös végén, a vörös és infravörös között elhelyezkedő fény fontos a *fitokróm* fotoreceptorok újrahasznosítása szempontjából, mivel szükség van rá a morfogén folyamatok valamennyi fajtájához. Miután a teljes fényciklusnak vége, néhány percnyi 730 nm hullámhosszú fénykezelés a *fitokrom kromofort* a *Pfr* (aktivált) állapotából a *Pr* (inaktív) állapotába helyezi vissza. Ez alaphelyzetbe állítja a vegyi összetételt egy újabb fénykezelési ciklushoz, és hasznos lehet a fotoperiódus klasszikus sötét oldalának lerövidítése során. A 735 nm a legközelebbi elérhető standard LED hullámhossz a 730 nm-es kezeléshez.

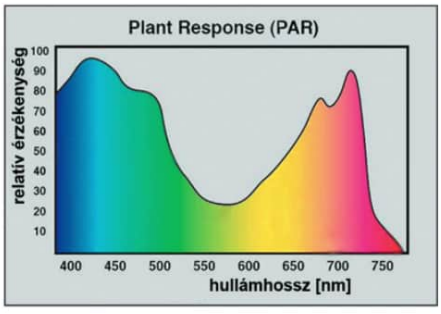
4. táblázat



25. ábra

van. Igénytelenebb környezetben a képen látható kivitel megfelelő, lakásban külső díszes burkolat kívánatos.

A **24.a ábrán** szemléltetjük az előszoba sarkában elhelyezett kétrészes szekrényeket, a **24.b ábrán** kissé nyitott ajtóval. A fényforrás speciális LED-sor alumínium sínben, mind a felső, mint az alsó szekrényben 1-1 db. A LED-eket a hatalmas kínálatból (pl. 15. ábra) magunk is összeválogathatjuk (ügyelve a hűtésre; 1 W teljesítmény alatt az alumínium sín eldisszipálja a keletkezett hőmennyiséget, e felett hűtésre is illik méretezni.). A mintakészülékben az *Incomp* (2120 Dunakeszi, Fő út 35) LED-jei világítanak, 3 db vörös és egy db kék) a *Sharlight*-tól. A **25.a ábrán** a LED sort, a **25.b ábrán** a világító állapotú LED-sort, a **25.c ábrán**



26. ábra

let, páratartalom stb. A **4. táblázatban** ízelítőt adunk a növények fejlődését befolyásoló sugártartományokról. Speciálisan válogatott LED-ekkel optimális fotoszintézis hatásfokot lehet elérni, amely a növény fejlődésében és bő termésben mérhető.

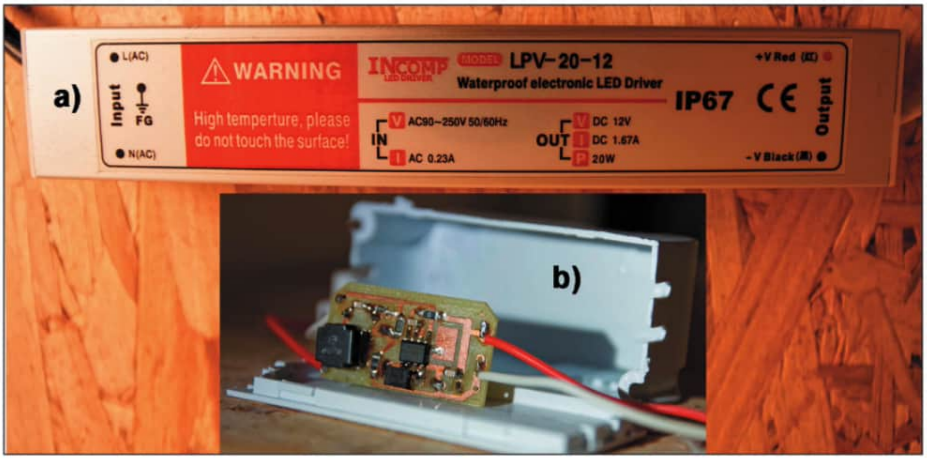
A professzionális gyártók gyártmányai fontosok a mezőgazdaság számára, de nagyon sokan vagyunk „kisfelhasználók”, akik szívesen kertészkednek, és ha ezt az elektronikai amatőrködéssel össze lehet kapcsolni, az külön örömöt jelent. A továbbiakban bemutatom amatőreszközökkel elkészített hortikultúrás szekrényemet, amelyben olyan csípős paprikát nevelek, amilyet nem lehet kapni a kereskedelemben!

Először abból indultam ki, hogy a hegyvidéki telkemen szabadföldön lassan és nehezen nőnek a konyhakerti növények. A piacon kapható primőr zöldségek, gyümölcsök márciusban már hozzáférhetők, a hegyekben április-májusban csíráznak, és nyár végére jön meg a primőr, az igazi pedig nem érik be. Ezért építettem LED-es világítású szekrényt.

A **24. ábrán** láthatjuk a 40×90 cm alapterületű, két emeletben 90 cm magas OSB pozdorja lemezből készült szekrényt cserepes paprika növények számára, amelyet piros-kék LED-ekből álló világítótest világít meg, a kívánt, főként éjszakai időperiódusban. A szekrény belső fala alufóliával bevont, a reflexió okozta hatásfoknövelés érdekében, felső részében szellőzőnyílás nagyított képét és panelelrendezését mutatjuk.

A megvilágító LED-es fényforrás spektrumát a **26. ábra** szemlélteti. A szekrényt 18 db piros és 6 db kék Sharlight SMD tokozású LED világítja meg, a táplálást 300 mA-es áramgenerátor látja el.

Fontos kérdés a tápellátás. Alapvető a LED-ek áramgenerátoros táplálása, erre korábban több kapcsolást közöltünk. Jelen szekrényben az Incomp által forgalmazott AC/DC konvertert **(27.a ábra)** és DC/áramgenerátor konvertert **(27.b ábra)** használtunk. Lakásban sem árt az óvatosság, de szabadföldön, üvegházban stb. szigorú követelmény a hálózatról való galvanikus leválasztás az áramütésveszély elkerülésére.



27. ábra

Lakásban, zárt helyiségben megfelelő az ábrán mutatott szerelési mód, de *nedves épületben, üvegházban, fóliasátorban és persze nyitott területen az áramellátást vízmentes dobozba kell szerelni és a kábeleket tömszelencén keresztül kell csatlakoztatni!*

A saját növénynevelő szekrény kialakításakor ne feledkezzünk meg a szellőzésről! Legalább szellőző rés legyen, bár hasznos lehet egy ventilátor is, hiszen a keletkezett oxigént jó kijuttatni a lakásba, a fotoszintézishez pedig kell a szén-dioxid. A növények ápolására itt nem térünk ki, ezt úgyis mindenki tudja, aki ilyen kertészkedésre vállalkozik. A növények megválasztásánál célszerű a különlegességre építeni, én például olyan erős paprikákat termesztettem, amit az élelmiszerboltban nem lehet kapni (jalapeño, habanero, Scotch bonnet, Carolina Reaper). A **28. ábrán** különböző fázisokban láthatjuk a paprika növekedését. A **28.a ábrán** a csírázás, a **28.b ábrán** a levelek megjelenése, a **28.c ábrán** a már burjánzó növények és a **28.d ábrán** a termőre fordulás időszaka látható.

A leírt szerkezet a legegyszerűbb, számtalan jó ötletet lehet még megvalósítani a „nagyok” megoldásaiból. Paprikáim többnyire nem teljes életüket töltik a szekrényben, 40…60 cm magasságot meghaladva (nyár közepén) kiültetem szabadföldre a terméshozatalig, de a csíráztatástól a bébikoron át a gyerekkorig biztonságos és gazdag nevelést kapnak a LED-ektől. Gazdaságosságot nem mértem, a villanyszámlát az egyéb hobbitevékenységem közt számolom el.

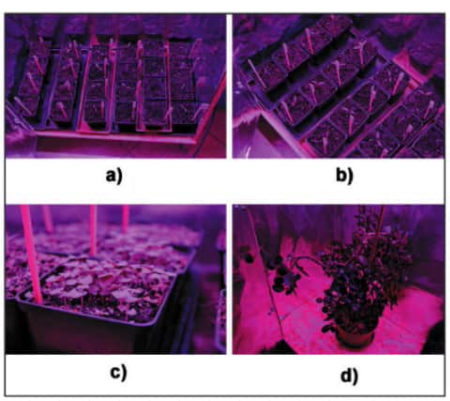
A világirodalom széles, az amatőrök körében is. Az interneten sok minden elérhető, bár az igazán értékesért fizetni kell, többnyire megéri. Előfordul, hogy a hortikulturával foglalkozó cikk is jelenik meg. LED lámpák vezérlésére ajánlhatom az *Elektor*t: https://www.elektormagazine.com/magazine/elektor-110/51138, bár én ritkán csábulok el a pontos megépítésig, többnyire az alapötlet alapján saját megoldást alakítok ki, de ezt ki-ki maga dönti el.

2.2. Akvarisztika

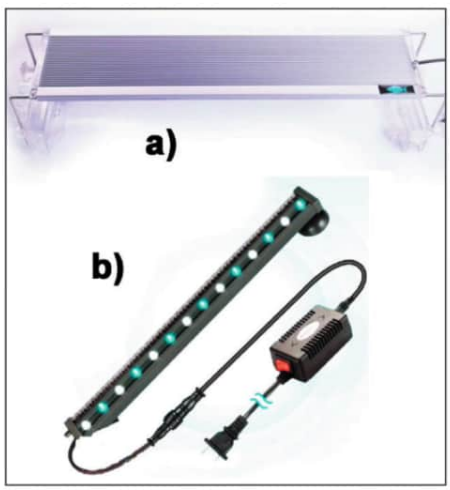
A növények mellett az állatoknál is hasznosítható a LED világítás, bár az nem kifejezetten hullámhossz-specifikus. Ismeretes, hogy baromfiaknál a folytonos világítás az alvási periódust kikapcsolja, nem engedi aludni, ebből kifolyólag állandóan eszik, gyorsabban fejlődik (ami persze további állatvédelmi problémákat vet fel). Érdekes terület a víz alatti világ megvilágítása, amely az akvarisztika kedvelői széles táborát érinti, otthoni akváriumunk mellett nem kivétel az állatkert sem. A víz fénytörése és fényelnyelése miatt speciálisan, az alkalmazásra fejlesztett 12 000 K-es LED-eket használunk, amely egyúttal az algásodást is gátolja.

Mi a valódi helyzet az akvaristák területén? A professzionális területeket kikapcsolva (állatkert, akvárium-házak stb.) a lakásban működtetett akváriumok speciális, kellemes hangulatot teremtenek környezetünkben. Kétféle létezik: az édesvízi és a tengeri akvárium. Az izgalmasabb, és nagyobb igényű megoldások a (mély)tengeri akváriumoknál vannak. A hagyományos megoldás, a fémhalogén világítás lényegében a múlté, a nagy fogyasztáson túl jelentős melegítő hatása járulékos odafigyelést igényelt. Azután jöttek a fénycsövek, először a kis akváriumhoz esztétikailag nehezen tolerálható T8-as csövekkel (Ø26 mm), majd a sokkal kedvezőbben illeszthető T5-ös megoldás, amely Ø16 mm-es méretével környezetbarátabb illesztést adott. (Egy időben kemény szakmai vitákat váltott ki a „helyettesítés”, szakértelem nélküli barkácsolás, amely amatőrtársaimtól idegen). Néhány éve viszont ezeket a fénycsöveket is leváltották a LED-ek. Cégek sora specializálta magát akváriumvilágító testek gyártására mind víz feletti, mind víz alatti beépítésre. A **29. ábrán** két professzionális megoldást mutatunk.

A **29.a ábrán** az *Odyssea* D-1000L lámpateste látható, amely létezik hagyományos T5 fénycsöves kivitelben, de van már LED-es változat is. A készülék akvárium tetejére helyezhető,



28. ábra



29. ábra

30. ábra

Csatorna	Gyártó/modell	Mennyiség	Fényerősség & meghajtóáram	Színhőmérséklet, hullámhossz
A	Cree XLamp® XM-L	4	540 lm @ 1500 mA	Hideg fehér 7000…8000 K
B	Philips Luxeon Rebel	2	88 lm @ 1000 mA	Kék 460…490 nm
	Philips Luxeon Rebel	2	1310 mW @ 1000 mA	Királykék 440…460 nm
C	Philips Luxeon Rebel	2	88 lm @ 1000 mA	Kék 460…490 nm
	Philips Luxeon Rebel	2	1310 mW @ 1000 mA	Királykék 440…460 nm
D	Epileds Dual-Core	1	600 mW @ 1000 mA	Szuper sarkvidéki 400…410 nm
	Epileds Dual-Core	1	780 mW @ 1000 mA	Szuper sarkvidéki 410…420 nm
	Cree XLamp® X P-G	2	232 lm @ 1000 mA	CRI 85 meleg fehér 3000 K

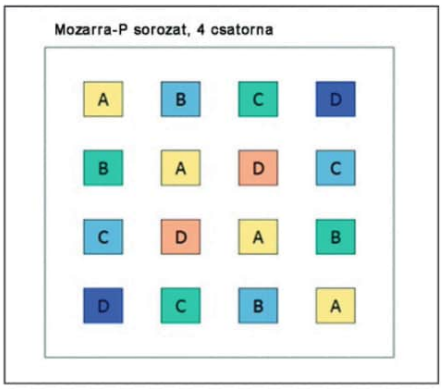
5. táblázat

első megvilágítást ad. A **29.b ábrán** az *AkvaTrend* víz alatti LED-soros lámpája látható, amellyel korall-akváriumban érhetünk el csodálatos világítást. Egy ilyen kép látható a **30. ábrán.**

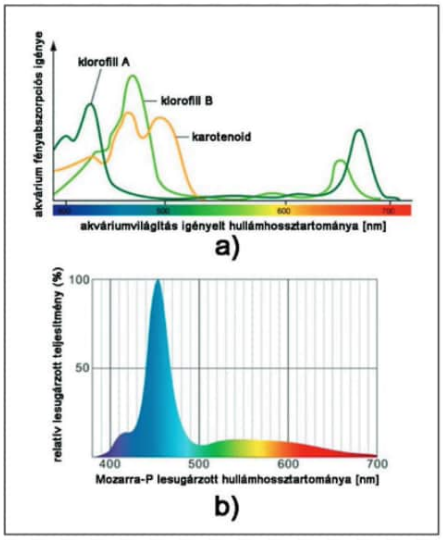
Kész lámpa megvásárlásával persze „könnyű" feldobni az akváriummal egyébként is keltett kellemes hangulatot, de az amatőrnek további örömöt okoz, ha maga állíthatja elő a speciális megvilágító eszközt. Nézzük, miből is áll az akvárium LED lámpája!

Hasonlóan a növényeknél bemutatott spektrumra, a vízi élet is megfelelő spektrumot kíván meg, ez pedig a *kék tartomány*. Míg orvosi tanácsra az emberi szem számára kedvezőtlen kék színtartománytól óvakodni kell (egyes vélemények szerint ideális a 2700 K színhőmérséklet), addig a normál világításra ajánlott 4000…4500 K színhőmérséklet-tartomány helyett az akváriumoknál a 10 000, de ajánlottan 12 000 K! Akváriumvilágításunkhoz tehát milyen LED-eket használjunk? Mi igényli ezt a hullámhossztartományt? Első sorban a vízi növények, de a halak is, főként a rákok, csigák, de legfőképpen a korallok. Ráadásul a vízi életben sokkal nagyobb jelentőséggel bír a napszaki színváltás, más a cirkadián ritmus, bár alapjában véve a meghatározó a napszak.

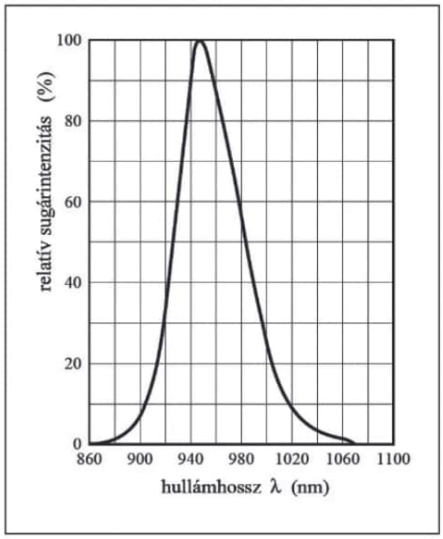
Ez kisebb alkalmazási terület, mint a növényvilágításé, kevesebb a tapasztalat, érdemes a jól bevált gyártmányok adatait tanulmányozni, és tág tere nyílik a kísérletezésnek. Kedvcsinálásnak és indulásnak ajánljuk a *Mazarra-P* cég megoldását. Röviden bemutatjuk.



31. ábra



32. ábra



33. ábra

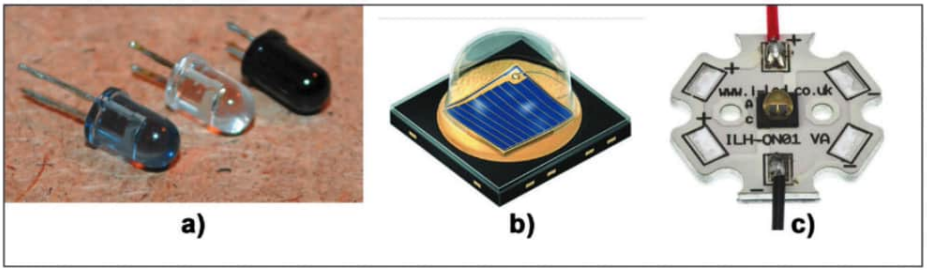
A Mazarra négy gyártócég LED-jét használja, a Creet, a *Philips-Luxeon*t, a *Rebel*t és az *Epistar*t. Adatait az **5. táblázatban** foglaljuk össze. A táblázat csatornába rendezi az adatokat, mert a Mozarra-P gyártmánya 4 csatornában vezérli a LED-eket napszaknak, és programozásának megfelelően. A LED-ek ajánlott elrendezését a **31. ábra** mutatja.

A **32.a ábrán** láthatjuk az akvárium fényabszorpciós igényét, a **32.b ábrán** pedig a *Mozzara-P* lesugárzott fényspektrumát. Ez jó támpontot adhat akár a vásárlásra, akár az építésre.

3. IR-LED-ek

3.1. Infravörös sugárforrások

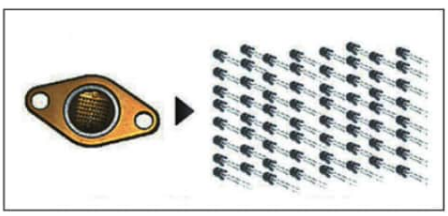
Az első fényemittáló diódák az infravörös és a vörös hullámtartományban sugároztak. Az infravörös, azaz a „vörösön innen" sugárzás a 780…100 000 nm-es hullámhossztartományban (IR-*A*, -*B*, -*C* tartományok; lásd *1. fejezet, 1. táblázat*) található, az emberi szem számára láthatatlan, de megfelelő fotodetektorok segítségével jól kiegészítheti a természetes fénnyel nem látható tárgyakat, eseményeket. A tiszta GaAs a 950 nm-es (közeli infravörös) tartományban sugároz (IR-*A*), amely hullámhossz-tartományban a szilícium fotodetektorok érzékenysége maximális, így ideális megvilágító eszköznek bizonyulnak az emberi szem számára láthatatlan spektrumban. Elektronikai úton, alkalmas megjelenítő eszközzel (bár fekete-fehérben) a látható



34. ábra

spektrumba konvertálható a kép. Az IR-*A* LED-ek sugárzási spektrumát a **33. ábra** mutatja.

Ezen az elven működnek vizuális kaputelefonok, a bebocsátást kérő arca sötétben is felismerhető. Alumíniumtartalmú vegyületfélvezetőből (AlGaAs) rövidebb hullámhosszú LED-ek készíthetők, amelyek 850…870 nm-es hullámhosszon sugároznak. A hullámhosszt az adott célra célszerű megválasztani annak függvényében, hogy a kívánt távolságban a jelen levő visszaverő felületek környezetében melyik bizonyul a leghatékonyabbnak. Ez főként a biztonságtechnikai kamerarendszerek világítótesteinél fontos.



35. ábra

A tipikus IR LED-ek néhány milliwattosos sugárzási teljesítménytől a néhány watt teljesítményig használatosak. Ha ennél nagyobb teljesítményre van szükség, akkor sok LED-ből összeállított táblát készítenek. A **34. ábrán** – a fehér fényt sugárzókhoz hasonlóan – három kategóriába sorolhatjuk az infravörös LED-eket. A **34.a ábrán** a kisteljesítményű LED-ek láthatók (Ø5 mm, ill. Ø3 mm), többnyire átlátszó, vagy szürke-fekete epoxi tokban. Munkaponti áramuk 20…50 mA, nyitóirányú feszültségük tipikusan 1,2 V. Megfelelő sugárzó hatás elérésére több diódából álló sugárzót kell építeni. A kisteljesítményű IR LED-eket gyártják SMD tokozással is. Sugárerősségük 10…100 mW/sr, sugárzási szögük is gyártmány/típusfüggő, az adott feladathoz kell választani. A **34.b ábrán** 1 W-os SMD tokozású LED-et láthatunk (*Osram*), a **34.c ábrán** pedig hűtőcsillagra szerelt sugárzót, akár 1 A-es áramra is.

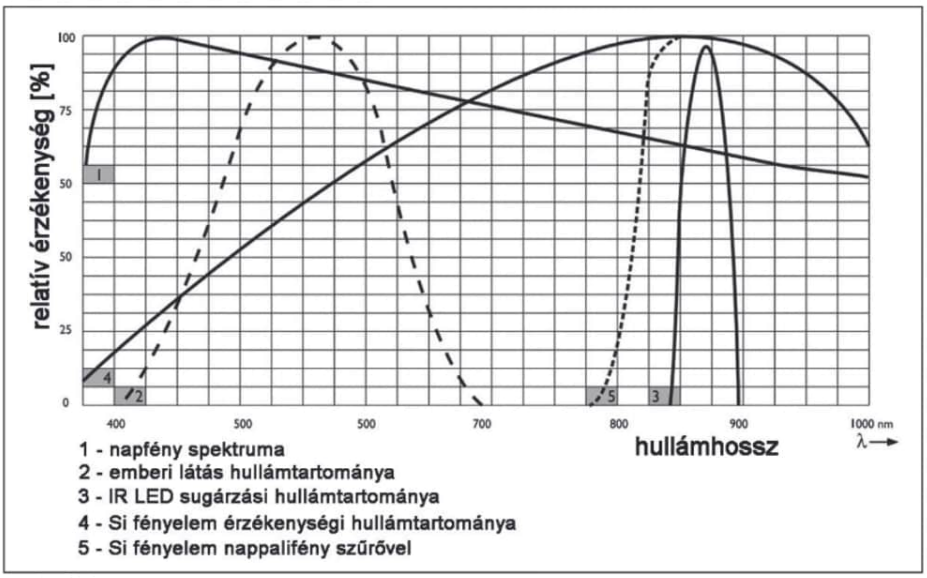
A látható fényű LED-ekhez hasonlóan az infravörös tartományban sugárzó LED-eket is készítik integrált formában, a csipek szoros egymás mellé szerelésével, mikroelektronikai technológiával. A **35. ábrán** egy teljesítménytranzisztor tokjába szerelt infravörös LED-sugárzót láthatunk, összehasonlítva hagyományos diszkrét megoldással. Az egyes csipek a világítási célú lámpatestek felépítéséhez hasonlóan soros/párhuzamos kapcsolással működnek együtt, és természetesen hűtésükről is gondoskodni kell.

A LED-ek által keltett infravörös sugárzásnak kétféle alkalmazása használatos: *adatátvitel* a fényáram modulálásával és a sötétben való *megvilágítás*, azaz valamilyen térrész, felület besugárzása, de a két módszert vegyesen is alkalmazzák. A világítástechnikához ez utóbbi hasonlít jobban, de vázlatosan mindhármat ismertetjük.

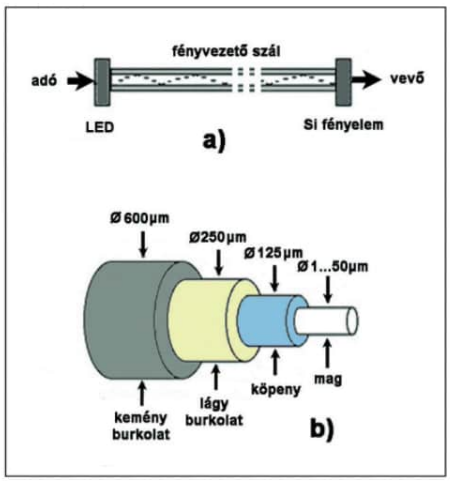
3.2 Az IR jelátvitel elemei

Az infravörös jelátvitelhez adó, vevő és átviteli közeg kell. Az ebben használt eszközök spektrumát a **36. ábrán** mutatjuk be.

Az infravörös sugárzás a teljes fényspektrum része, de felhasználása erősen különbözik a hagyományos értelemben vett optikai alkalmazásoktól. Megszoktuk, hogy adatátvitelnél van egy információtartalom, amelyet rendszerint valamilyen adathordozón modulált formában visszük át rendeltetési helyére, majd demodulálva visszaállítjuk az eredeti formát. Ez lehet analóg vagy digitális hangjel, képjel, kódolt vagy kódolatlan digitális információ, az adathordozó pedig valamilyen sokkal nagyobb frekvenciájú sugárzás, rádióhullám vagy fény. Persze ez nemcsak a modern információtartalomra igaz! Ne temessük el a morzejeleket, amit az áramkör megszaggatásával érhetünk el, vagy akár a zseblámpával leadott fényjeleket kiránduláskor stb.! Az infravörös technikában kép és hang nagyhűségű átviteléről beszélünk, ahol a fény csupán adattovábbító közeg. Az információtartalmat továbbíthatjuk vezetékesen, – ezek a fénykábelek –, vagy szabad térben, sugárzással.



36. ábra



37. ábra

3.3. Fényvezetéses információátvitel

Fénykábeles információátvitelnél egy „csőbe", vezetékbe szorítjuk a sugarat. Ilyenkor a fénysugárnak nincs megvilágító szerepe, csupán adatátvitel, ami a fénysugár modulációjával történik, és lejjebb is jövünk a hullámhosszban, rendszerint a piros tartományba. Ennek több előnye is van: részint szereléskor látható is a fénykábel működése, részint fényforrásként lézerdióda helyett LED-et használhatunk, amely olcsóbb, könnyebben előállítható.

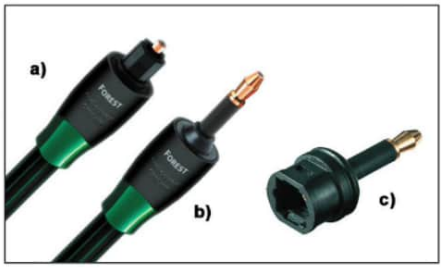
Az adattovábbító eszköz tehát egy fényvezető cső, azaz fénykábel, aminek a szerkezetét a **37. ábra** mutatja. A **37.a ábrán** sematikusan vázoltuk az adattovábbító eszköz felépítését. A bal oldali adó fényjeleket ad, amelyet a modulátor vezérel és a fénykábelbe sugározza. A kábel továbbítja a modulált fényjeleket a jobb oldali vevőhöz, amely demodulálja, azaz leválasztja az adattartalmat és elektromos jellé alakítja, továbbítva a vételi helyre. A fénykábel-adó, valamint a fénykábel-vevő jó optikai kapcsolatban vannak, tehát a fény terjed az adó és vevő között, bár kis illesztési veszteség felléphet. Az adó egy LED vagy egy lézerdióda, a vevő fényelem vagy fototranzisztor, a hozzájuk illesztett modulátorral és demodulátorral. Nagyobb távolság áthidalásához lézert használnak, mert jobban fókuszálható és nagyobb az energiasűrűsége, de egyszerűbb esetekre a LED is megfelelő és olcsóbb is.

A fénykábel nagy tisztaságú üvegszál, rövidebb áthidalásokhoz (pl. hangfrekvenciás átvitel a szórakoztató elektronikai készülékek között) jó fényvezető műanyag szál is alkalmas. A fényvezető képesség fontos, különösen hosszú kábelnél, ugyanis a jó minőségű fényvezető szál nagytisztaságú üvegből készül, a jel csillapítása a rézkábel villamos vezetési veszteségénél nagyságrendekkel kisebb! Ismeretes, hogy rézkábelnél néhány kilométerenként jelregeneráció szükséges, különösen analógjel átvitelnél, míg egy jó minőségű optikai szál csillapítása 0,2…2 dB/km, így 20…100 km-es távolság áthidalható közbenső regenerálás nélkül! Az utóbbi érték különösen hibajavító digitális jelátvitelre igaz. A fénykábel a kábeltévék kedvelt átviteli rendszere.

Milyen a fénykábel fizikai kialakítása? Ezt mutatja a **37.b ábra**. A lényeg a mag, amely a fényt vezeti. Átmérője hatékonyan befolyásolja a fény terjedését. A fényvezetés lényege ugyanis a fénytörésen alapul, a Snellius-Descartes törvény szerint ugyanis a fényvezető határfelületére érkező fény a kritikus beesési szög alatt nem tud kilépni, teljes visszaverődést szenved, veszteség nélkül „pattog" a falak között. Ez a többmódusú optikai szál, de ha a szál átmérőjét a fény hullámhosszának mértékéig csökkentjük, akkor még gyorsabban és még veszteségmentesebben, visszaverődés nélkül terjed, ez az egymódusú optikai szál (Ø0,8…1 μm). A hétköznapi gyakorlatban ezt csak igényes esetben használjuk, drága, az illesztése még nehezebb. A 37.b ábra szerinti felépítésű fénykábel magját kisebb törésmutatójú köpeny veszi körül, hogy a határon a teljes visszaverődés létrejöjjön, majd a fizikai kialakításhoz lágyabb burkolat és keményebb külső köpeny adja a tényleges kábelt. Ez a külső köpeny gondoskodik arról, hogy a kábelt szereléskor ne görbítsük egy adott határnál kisebb sugarúra, mert ez gátolhatja a teljes visszaverődést és járulékos veszteséget okoz, sőt, a szál töréséhez vezethet.

Fényvezető kábelcsatlakozást adat- és jelátvitelre az élet különféle területein alkalmazunk. A használatos fény hullámhossza a vörös és infravörös tartományban van. Hétköznapi, szórakoztatóelektronikai célokra a vörös fényt szokták alkalmazni (λ = 600…700 nm), talán jórészt azért, mert látható a szerelés. Ahol ez zavaró, ott az infra tartományig mennek.

A fénykábelek használata elterjedt a szórakoztató elektronikában. Kissé furcsának tűnhet, hogy miért alkalmazzák előszeretettel a látszólag megbonyolított átvitelt az egyszerű vörösrézhuzalos kábelekkel szemben? Hiszen az optikai átvitelhez a hangot modulált fénnyé, majd demodulált hanggá kell alakítani, ami (látszólag) árban is növekedést okoz, mégis megéri a többlet-előnyökért! Amatőrtársaim ismerik azokat a veszélyeket, amelyekkel megküzdöttünk korábban, amikor erősítőket összekapcsoltunk tévénkkel, hangrögzítőkkel, hogy mennyi zavarforrással kellett megküzdeni! A földhurkokból kialakuló brummtól a hálózati zavarokig, az átviteli lánc frekvenciafüggőségeiből adódó magashang-veszteségig egy sor gondot okozott, amelyet egy rendszerre megoldva, egy újabb összeállításnál kissé másképpen jelentkeztek. Ezt a digitalizálással egyértelműen el lehet kerülni. A digitalizáló készülékek ára pedig egyre elviselhetőbb, ráadásul



38. ábra

segít a szabványosítás. A több előny közül néhány:

– nagy tömegű információátvitel történhet egyetlen roston,

– jelek nagyobb távolságokra történő küldésének lehetősége az optikai kábelek csekély veszteségei miatt,

– teljes elektromágneses zavarokkal szembeni ellenállás,

– könnyű, finom vékony kábelek,

– nincs áramütés vagy gyulladási veszély,

– időjárással és környezeti hatásokkal (páratartalom, elektrosztatikus kisülések és mások) szembeni tökéletes ellenállás,

– nagy megbízhatóság,

– szerencsére folyamatosan csökkenő árak.

A hangfrekvenciás adatátvitelhez elegendő a 10 m-es távolság, ezt többnyire a sokkal olcsóbb műanyag fényvezető szállal oldják meg. Az üvegszálas megoldással 100 méter is áthidalható. A műanyagszál magátmérője 1 mm, és csatlakozóját is szabványosították. A műanyagból készült foglalatba betolható dugó kétféle változatban készül: a hagyományosabb a *Toslink*, a fémkontaktusos elterjedt hengeres változat pedig a 3,5 mm átmérőjű optikai Jack rendszer. Ez utóbbi inkább nosztalgia-ízű megoldás, megtévesztő (én nem is tartom szerencsésnek), mert bár rendszertechnikailag nem, de méretileg „csereszabatos", szerencsére baj nem származik a hibás használatból. A két rendszer dugóit és átalakítóját a **38. ábra** mutatja.

A **38.a ábrán** kábelvégre konfekcionált Toslink dugót láthatjuk. A megvezető műanyag test nem körszimmetrikus, nem elforgatható, szemben a **38.b ábrán** látható Jack rendszerrel, amely méreteiben hasonlít fémkontaktusos változatához. Az aranyozott dugórész ne tévesszen meg senkit, fémes vezető szerepe nincs, csupán esztétikai jelentősége van! A kétféle optikai csatolórendszer a szórakoztató elektronikai rendszerek nagy választékában vegye-

sen használatos; két vegyes rendszer összedugaszolásában segít a **38.c ábrán** bemutatott átalakító.

Megjegyezzük, hogy a barkácsolásban jártas amatőr a vörösrézkábellel szerelt fém csatlakozók házi szerelését sikerrel végzi, az optikai szerelésre többnyire csak speciális felszerelés és gyakorlat birtokában vállalkozhat: az optikai kábelmag merőleges vágása, üvegszál esetén csiszolása precíziós munka, a sikertelenség nem kizárt!

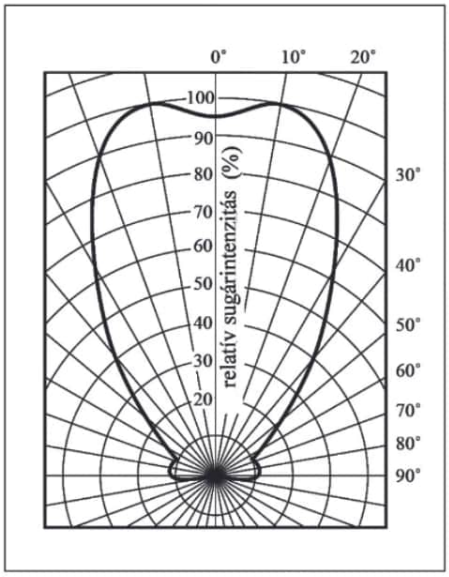
A rézvezetékes és optikai kábeles rendszerátalakító dobozok széles választéka kapható, más szabványú csatlakozó rendszerekre is (RCA, SCART, HDMI stb.). Így könnyűszerrel kapcsolódhatunk számítógéphez, internethez, a sávszélesség biztosított.

3.4. Sugárzásos információátvitel

A sugárzásos információátvitel során az infravörös sugárzást vivőhullámként használjuk, amellyel az adóban moduláljuk a vivőt, majd a vevőben demodulálva visszakapjuk, de a vivőhullám nem fényvezető szálban terjed (meglehetősen biztonságosan és nagyon kis veszteséggel), hanem a térben szabadon (bár lehetőség szerint irányítottan). Ez magában hordozza a veszélyeket, a jelentős veszteséget, a közbülső tárgyak abszorpcióját és reflekcióját, amelyek az átvitel biztonságát rontják.

3.4.1. Infra távvezérlés

A sugárzásos információátvitel legegyszerűbb megvalósítása az infra távvezérlés. Csekély kivételtől eltekintve ez a szórakoztató elektronika eszköze,



39. ábra

bár több háztartási berendezésnél (pl. klímaberendezés, szobai ventilátor), gépkocsi biztonsági rendszerek, garázsajtók vezérléséhez, otthoni erősáramú rendszer vezérléséhez stb. is elterjedt. A rádiózásnál még nem volt kifejezett igény a távvezérlésre, a hangolást és a potmétert a rádiókészüléken állítottuk be, de a televízió már igényelte a távvezérlést, azután jött a többi. Erre születtek meg a távvezérlő rendszerek, mai korszerű távvezérlő akár 30 vezérlőelemet tartalmazhat. További kívánság volt a drótnélküliség, és olyan adatátviteli rendszer, amelyet nem zavart látható fénysugárzás (világítás, napsütés), hangsugárzás, vagy egyéb lakótéri környezeti behatás. Erre ideális rendszer volt az infravörös sugárzás, mint média. Kidolgozták hát az infravörös távvezérlő kézi készülékeket, amelyek az idők során jelentős fejlődésen mentek keresztül.

A jó teljesítménysugárzás érdekében az adóeszköz sugárzási szögét keskenyre készítik, kb. ±35°-osra, az epoxi tok konvex lencse kiképzésével. Egy tipikus sugárzási karakterisztikát mutat a **39. ábra.**

A távvezérlési célokra szolgáló infravörös átvitel során a távvezérlő (jól kézhez álló, könnyű, telepes készülék sok nyomógombbal) soros digitális információval modulálja a LED infravörös sugárzását. Korábban néhány átviendő parancs volt (ki-bekapcsolás, hangerősség, csatornaváltás stb.), ezekre a feladatokra speciális integrált áramköröket fejlesztettek ki, később az igény nőtt. Ma már egy távvezérlővel egy tévét a számítógéphez hasonló menürendszerrel kell irányítani, a vezérlőcsip szerepét mikrokontrolleres rendszer vette át, de az átvitel nem változott, infravörös adatjel-sorozat vezérel, néhány méteres szabadtéri átvitellel. Itt egyértelmű az infravörös spektrum, hogy a látható világítás ne szóljon bele, sőt, általában erre szűrőt is alkalmaznak **36. ábra** *5.* görbéje szerint.

A szórakoztató elektronikában használatos térbeli sugárzásalapú infra távvezérlők rendszerével a számítástechnikában is találkozunk. Az optikai kábeles adatátvitel előtt már szabadtéren is alkalmazták az infravörös LED-es adatátvitelt, erre alakították ki az *IrDA* eszközöket. Nyomtatók távvezérlésére, sőt, egerek adatátvitelére is használták, da ma már egyre kisebb a jelentősége; a wifi és Blutooth rádiós rendszerek kiszorították.

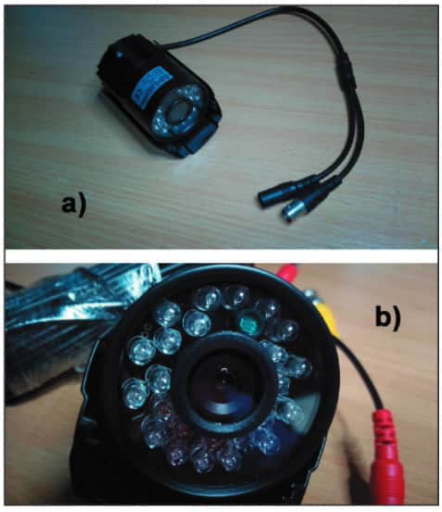
A szórakoztató elektronikában viszont szinte kizárólagosan használják,

40. ábra

de – mióta *Murphy* kőbe véste megállapítását: „Ami elromolhat, az el is romlik." – gyakran bosszankodunk, hogy nem működik a rendszer. Mi lehet a baj? Vajon a vevőkészülékben keletkezett hiba, vagy a távadóban? Hogyan tudhatjuk meg, ha a távvezérlő fény a láthatatlan infra tartományban van? Erre ajánljuk otthoni használatra infravörös távvezérlőnk tesztelését mobiltelefonunk segítségével, feltételezve, hogy van kamera üzemmódja (és nem iPhone, vagy egyéb igényes készülék, amelyben a kamerának infraszűrő előtétje van). A mobiltelefon kamerája veszi az infra jelet, amelyet monitora kijelez, ha az infra LED ad (**40. ábra**). Ekkor a hibát lehet a vevőben keresni.

3.5. Infra megvilágító sugárzás

Az infravörös jelátvitelnek tehát két megvalósítási formája van: a közvetlen adatátvitel, amelynek során az adó és vevő között egyetlen és kizárólagos kapcsolatot létesítünk, ez a fénykábellel tökéletesen megvalósítható, a levegőn át történő sugárzásos átvitelnél pedig a térrészen keskeny szabadtéri csatornán át történik a kapcsolat létrehozása. Ez nem kizárólagos, hiszen az irányított sugárzásba (akármilyen keskeny is) más vevő is becsatlakozhat. Ennek a gyakorlatban káros hatása nincs, de a cél az adatátvitel, a megvilágításnak nincs szerepe, csak járulékos jelenség (a tévé távvezérlőjével nem kívánunk semmit „megvilágítani"). Az infravörös jelátvitel másik megvalósítási formája a megvilágító sugárzás, amely lehet passzív, csupán a térrész infravörös sugárzással való bevilágítása, és ez társulhat járulékos adatátvitellel. A passzív besugárzás gyakorlati megvalósítása kevés, bár nem jelentéktelen. Közhasznú jelleggel a szórakoztatóipar alkalmazza, sötétben, vagy gyenge megvilágításnál táncosok ruháin az infravörös fényhullámok tükröződése különleges hatást



41. ábra

ad. Ennél fontosabb a katonai, védelmi és hírszerző alkalmazás, az infra távcsövek, amelyek működése részben a tér infravörös besugárzásából adódik, részben pedig a természetes (mesterséges) világítási csekély infratartalmából.

Az aktív infravörös besugárzással célunk lehet, akár a sugárzás pusztán optikai hatása alapján kép készítésére, akár hangmodulációval hangátvitelre.

3.6. Fényképezés

Az infravörös fény a természetes fényhez hasonlóan viselkedik, a tárgyak felületi tulajdonságai szerinti abszorpciós és reflektív módon, csupán a színek nem érvényesülnek. Ennek megfelelően infravörös fényben a környezetről hasonló képet kapunk fekete-fehérben, kellő megvilágításban még az arc is felismerhető, így előnyösen használja a bűnüldözés események, bűncselekmények leleplezésében, de hatásosan alkalmazható pl. vadállatok mozgásának megfigyelésében, a hadászatban és sok egyéb területen. Ilyenkor tehát a környezeti tárgyakról visszavert fény az IR kamera objektívjén keresztül képdigitalizáló szenzorra kerülhet, amelynek alapja a csipen integrált, mátrixba rendezett megannyi Si-fényelem. Ebben a helyzetben tehát az IR LED fénye kettős feladatot lát el, részint bevilágítja a teret, részint fényerősség-modulációjával részt vesz az adatátvitelben, amely alapja a képrögzítésnek, adatrögzítésnek. Megfigyelési célra gyártanak olyan kamerákat, amely mindkét üzemmódban automatikusan működhet. Nappali (látható) megvilágításban színes képet ad a képérzékelő csip, ilyenkor az objektív köré épített infravörös LED-ek nem világítanak. Ha a megvilágítás fényereje csökken és egy kritikus érték alá süllyed, egy alkonyatkapcsoló (azaz fényerősség érzékelő) bekapcsolja az infravörös világítást, és a kamera fekete-fehéren lát. Ilyen univerzális térfigyelő kamerát mutatunk be a **41. ábrán**.

Az **41.a ábrán** látható a kamera, tápellátó csatlakozójával és az analóg képjelet közvetítő koaxiális BNC csatlakozójával. A **41.b ábra** közelről mutatja a sugárzókat. A középső objektív mögött van a CCD (vagy újabban inkább CMOS) képszenzor, körülötte koncentrikus elrendezésben 24 db infra LED, valamint egy hasonló tokozású fotoellenállás a fényerősség érzékelésére. Ha a megvilágítás 5 lx alá csökken, akkor az infra LED-ek bekapcsolódnak, és mintegy 35°-os szögben bevilágítják az objektív előtti teret. Ilyenkor a képszenzor az infravörös besugárzás alapján keletkezett képet látja, ezt feketefehér tónusúra alakítja, és továbbítja a központi egységnek, amely megfelelő digitális formában rögzíti a képet.

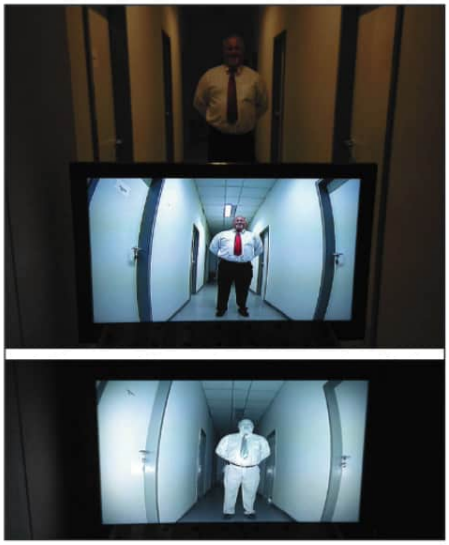
Az infra LED-ek tehát aktív bevilágító üzemmódban működnek, amely a látható fényhez hasonlóan (bár a hullámtartomány szerinti más reflexiós és emissziós faktorokkal) szóródik. A vevőoldal (célszerűen kamera) ezt a képet veszi, átalakítja látható tartományra, és a komplett kamera – bár fekete-fehéren – aktív üzemmódban láthatóvá teszi. Ennek sötétben van jelentősége, amikor természetes fény nincs a láttatáshoz. Számos biztonsági és egyéb területen jó kiegészítője a világításnak, sőt, további előny, hogy pl. az illegálisan tevékenykedő személyek nem is látják, hogy cselekedetük látható. Így működnek pl. a gépkocsik rendszámát leolvasó automatikák is.

3.6.1. Logsztika, Reco Sense rendszer

Érdekes alkalmazási terület a logisztika. Ezt az új tudományágat a korszerű gyártás, raktározás és szállítás hozta létre, amely alapvetően egy informatikai rendszer a mesterséges intelligencia egyre mélyebb alkalmazásával. A korszerű logisztika jelentős hardvereleme az infravörös jelátvitel. A témában született egy magyar találmány, a *RecoSense*, a *MagiCom Kft.* fejlesztése eredményeként, amely bekerült a Műszaki Egyetem oktató bázisába a hatvani Bosch laboratóriumán keresztül. Nem célunk itt a találmány bemutatása, annál is inkább, mert alkalmazása személyre (cégre) szabott, rövid ismertetése az IR alkalmazásának bemutatásához szükséges.

Mi is a logisztika lényege? A középkorban egyedi gyártás volt, azaz a cipész egy pár cipőt készített a megrendelő számára, nem többet. Ez rövid úton eljutott a felhasználójához, fizetése azonnal megtörtént, nem volt összecserélhető mással, nyomon követése a mester és a rendelő között egyszerű volt, a határidő megegyezés szerint alakult. Mára ez megváltozott. A terméket nem a mester készíti egyedileg, hanem az ipar, tömegben. A tömeg alatt érteni kell a fajtát, formát, színt, méretet, anyagát és sorolhatnánk, mit még. A gyártás nem egyedi rendelésre készül, hanem sorozatban, határidő előtt, a közbülső időt az áru egy raktárban tölti. A termelőtől a raktárig szállítani kell, jegyezni nyomon követhetően, átadni a kereskedelemnek, ami további szállítás(oka)t igényel, az eladás eredményét (az ellenértéket) kezelni stb. A gazdaság működését tehát ismerjük, hogyan látja mindezt a raktár? Itt a rendszer még komplikáltabb, hiszen több szállító is van. Mindezt kezelni pusztán emberi erővel lehetetlen, erre használjuk a számítógépeket. A szoftver tudja kezelni az adatokat, amelyeket viszont kézzel kell bevinni, lekérdezve a gép meg tudja mutatni, miből mennyi van raktáron, a logisztikai rendszer pedig megmondja, mikor mit és hova kell szállítani. Az áru nyomon követését viszont csak a bevitt adatok alapján képes a gép regisztrálni. Erre született a RecoSense rendszer. Ezt végzi az *IRID-RTLS* rendszer, a RecoSense alapja.

Az elnevezés angol rövidítésekből ered: *IR* (azaz infravörös) *ID* (azaz identification) – *R*eal *T*ime *L*ocating *S*ystem. A rendszer tehát minden raktári árut azonosít, vonalkódot, vagy QR (Quick Response) kódot rendel hozzá, amelyet kamerarendszer figyel, és háromdimenziósan, időadattal tart nyilván. A RecoSense a logisztikai terv szerint vezérli az árukat, szállítja (pl. távvezérelt targoncarendszerrel) határidős szerint ki, be, polcról polcra, könyveli a mozgásokat, sőt, a továbbfejlesztett változata mozgásérzékelővel módosítja a hely- és idő-adatokat. Ebben az esetben gombelem, vagy kis akkumulátor működteti az árun a mozgásérzékelőt. Ennek a technikának az alapja az IR kamerarendszer, amely felismeri az áruk kódjait és nyomon követi. Ilyen nyomkövetése van



42. ábra

a szállítóeszközöknek is, sőt, a raktári dolgozók sapkájára erősített kódok alapján az embereknek is. Ez tehát egy infravörös kamerás térbeli adatátvitel, a mozgásokat, változásokat a kamerarendszer a számítógépbe viszi, ami működteti a teljes logisztikát.

A IRID-Real Time Locating System, azaz infravörös azonosításon alapuló valós idejű lokalizáló rendszer szavakból képzett rövidítés olyan technológiák összességét takarja, amelyek az infravörös fény segítségével megvalósuló adatkommunikáció előnyeire építenek. Az IR előnyeit itt is kihasználjuk, az IR-*B* hullámtartományban működő rendszer előre vetíti az ember nélküli raktározás lehetőségét, de már ma is nagy könnyebbséget, megbízhatóságot és precizitást nyújt a kezelésnek.

3.6.2. Az IR megvilágítás néhány jellegzetessége

Az infravörös besugárzásban nem látunk színesben, de a reflexiós és abszorpciós faktorokhoz való igazodással meglepő célokat lehet elérni. Ennek demonstrálására mutatott be a szakterületben élenjáró cég vezetője egykor egy előadásában egy „varázslatot". Munkahelyének folyosóján normál megvilágításban, fekete nadrágban és fehér ingben állt, a kamera normál képet mutatott, majd kikapcsolva a látható megvilágítást és bekapcsolva az infravörös sugárzókat, egy gombnyomásra „átöltözött", egyszeriben fehér nadrágban látta a közönség a kivetítő monitoron. A magyarázat a reflexiós és abszorpciós tényezőkben keresendő, nadrágja fényes felülete visszaverte az infra sugarakat, fehérre váltott, bár színek nincsenek, a monitorkép fekete-fehér (**42. ábra**).

Jó ismerni az infravörös világítás hatására keletkező képet, mert pl. bűnüldözésben a ruházat és tárgyak színe nem határozható meg. Ezek alapján az infravörös fényképezés egy határterületen van a modulált vivőfrekvenciás adatátvitel és a megvilágítás során történő információátvitel között. Ennek ellenére a privát élet számos területén használják, tipikus területe az igényes kivitelű kaputelefon-rendszer.

A kaputelefon hangrendszerek 20…25 éve „divatba jöttek", áruk jelentősen csökkent, és a digitalizálódó világban hamar digitálissá váltak, akkor miért a mellé szerelt kamerák maradtak volna analógok? A képszenzorgyártók ma már ontják a képérzékelő csipeket, mobiltelefonunkban minimum kettő, de a drágábbakban akár négy is van, térfigyelő kamerák utcán, köztereken, autóbuszban digitális képet adnak ki, de autónkban is hasznos lehet útfigyelő rendszernek, képrögzítéssel.

3.7. Konferenciahangosítás

A hangátvitel speciális területe, ha egy embernek sok ember számára van közlendője. A természet adta lehetőség, hogy a közlő ember felemeli hangerejét, kiabál, hogy a távolabb levő másik, vagy netán több emberből álló csoport meghallja. Ez egy darabig működik, de sok függ a közbülső tér méretétől és a rendszer akusztikájától. Nagyobb zárt térben, speciális akusztikai kialakítással a hangátvitel működik emeltebb emberi hangerővel, erre jó példa a színházak esete. Bár a színészek fel vannak készülve a hangos beszédre, ez nem mindenkitől várható el. Egyszerűbb esetekben hangosítással oldják meg a problémát: a közlő mikrofonba beszél, amelyet analóg módon felerősítenek, és hangszórón, hangszóró rendszeren keresztül a térbe sugározzák. Szabad térben használva ez lehet kézi megafon is. Ezek a rendszerek ma is használatosak, de sok hátrányuk van. Az emberek hallása nem egyforma érzékenységű, ami az egyiknek érthetetlenül halk, a másiknak túl hangos. Különösen zárt térben zavaró a visszhang torzító hatása, ami nyílt térben az egyéb zajokkal vegyülve tovább romlik. Ezen az erősítés sem javít tökéletesen, ráadásul a kábelek zavarólag hathatnak. No de miért vagyunk mi elektronikai szakemberek, hol a drótnélküliség?

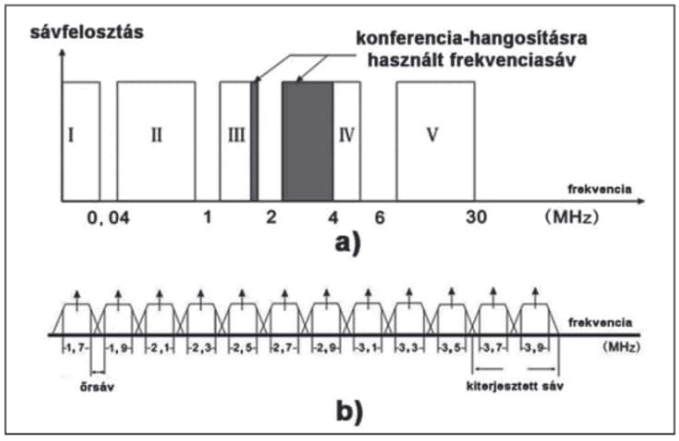
A vezeték nélküli hangátvitel régen megoldott dolog, kérdés, hogy mi vigye a csatorna tartalmát? Hát persze, hogy elektromágneses hullám! Ennek a spektruma viszont az ultrahangoktól a kozmikus sugárzásig terjed, melyik hullámhossztartomány lenne a legalkalmasabb?

Sorolhatnánk a hullámtartományok negatívumait; ki ismerné ezt jobban, mint a rádióamatőr? A győztes megoldás az infravörös hullámtartomány vivőfrekvenciaként. Sávszélesség-probléma nincs, nem zavarja semmi, nagyon jó hatásfokkal lehet akár szimplex, akár duplex kapcsolatokat létesíteni. Megjegyezzük, hogy konferenciarendszereknél a szimplex kapcsolatok használatosak, azaz az előadó hangját sugározzuk a vevők felé. Hallgatói kérdés, hozzászólás jelenthetne duplex igényt, ezt a meglevő rendszerek hagyományos, kábeles, vagy mikroadós mikrofonos rendszerrel a központi egységben kézzel kapcsolják.

Több vezető cég gyárt IR-alapú konferencia-hangrendszert, nálunk a *GONSIN*, ill. a *Bosch-Philips* rendszer az elterjedt. Nem célunk a cikkben gyártó-alapon rendszereket bemutatni, honlapokon ezek elérhetők, a reklám tartalmú bemutatónak pedig nem itt van a helye. A működésük hasonló, ezért magyarázataink általános jellegűek.

Az infravörös hangátvitelhez ugyanez a működési mechanizmus használatos, mint amit megismertünk a szórakoztató elektronika területén elterjedt modulált IR kábeles megoldásoknál, vagy a távvezérlőkben alkalmazott kódmodulált szabadtéri rendszereknél. Ám egy konferenciaterem-hangosításkor sok vevő van jelen, tehát az információátvitel nem két pont között, hanem a térben történik, azaz az előadó mikrofonjelével modulálva az infra

43. ábra



44. ábra

LED-eket, azt egy sok diódából felépített sugárzó a teremben lehető egyenletesen szórja, hogy a megannyi hallgató vevőjével vehesse és fejhallgatójával hallgathassa.

Ezekre a rendszerekre adóként nagyméretű, sok infra LED-ből felépített sugárzó táblákat használnak. A **43. ábra** ilyen sugárzókat mutat. Ekkor tehát a teret besugárzó infra LED-es adó modulált IR fénysugarat bocsát ki, amelyet a vevőoldali szenzorok sokasága direktben érzékel. A feladat tehát az előadó hangjával modulálni az infra vivőt és kisugározni. A legegyszerűbb esetben egyetlen előadó van, akinek a mikrofonja adja a moduláló jelet. Kissé bonyolítja a rendszert, ha kérdés, hozzászólás is van, ilyenkor mobil mikrofont ad a kisegítő személyzet a hozzászólónak, egy operátor pedig átkapcsolja az adómikrofont, de a vétel ugyanazon séma szerint történik. Ennél még bonyolultabb a „kerekasztal beszélgetés", több szereplővel, ilyenkor a hangforrásokat vagy kézzel kapcsolják át, vagy automata rendszer érzékeli, hogy melyikük beszél, azt kapcsolja a modulátorra, a többit letiltja, hogy az egymás szavába vágás az érthetőséget ne korlátozza. A ma használatos konferenciarendszerek ennél is bonyolultabbak, többnyire nemzetközi szereplőkkel, több nyelven történik. Ekkor az adó és vevő közé tolmácsfülk(ék)e kerül(nek), ahol másodlagos, harmadlagos stb. előadói információ (illetve kérdés-hozzászólás információ) is az adóba kerül, de egy másik csatornába. Ezek a konferenciahangosító rendszerek tehát többcsatornások, más-más segédvivő hullámsávval, a vevőoldalon az egyes csatornákat szelektíven kell tudni venni. Ilyenkor a vevő kiválasztja a kívánt csatornát (nyelvet), és azt veszi. Szerencsére az infravörös átviteli sáv olyan széles, hogy (főként digitális rendszerben) a modulált jel sok vivőből épül fel, ezeket az IR adó mind kisugározza. Feladat, hogy az egyes vevők szelektíven csak a kívánt csatornát tudják venni. A vevőkbe tehát választó kapcsolót építenek, amellyel a kívánt hullámsáv, azaz a forrás (más-más nyelv, vagy másik előadó) kiválasztható.

45. ábra

Több cég gyárt infravörös konferenciahangosító rendszereket, többnyire tolmács-cégek használják, és tolmácsokkal, valamint technikai személyzettel együtt bérelhetők. A hangszigetelt tolmácsfülkék vagy adottak a konferenciateremben, vagy elemekből telepíthetőek az esemény előtti felkészülésben.

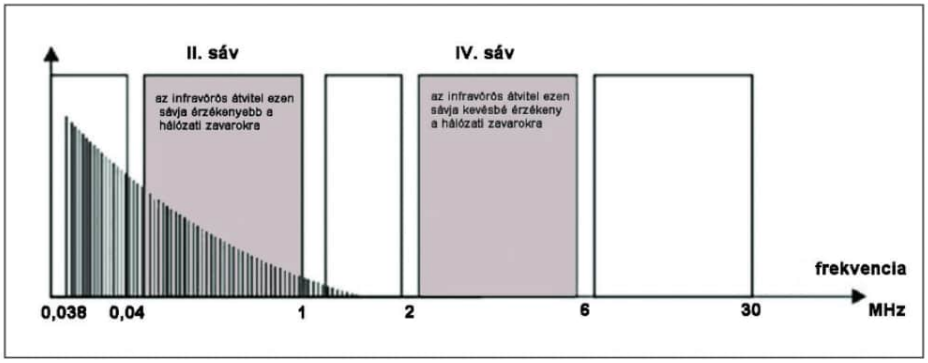
Manapság az igények magasak, a gyártó cégek egyszerűbb esetekben két csatornát használnak ki (pl. a magyart és az idegen nyelvet), de nagy nemzetközi konferenciákon igény lehet 10…30 csatornára is. Ez meglehetősen nagy sávszélességet foglal el. Az IR sávban ennek elvileg (ma még) van elegendő hely, bár szabványok ezt is korlátozzák, tehát igyekezni kell minél kisebb frekvenciasávon minél igényesebb hangsávot átvinni. Ezt rendszerint kettős modulációval oldják meg, FM segédvivőket, ezen belül pedig digitálisan tömörített hangsávokat vetnek be. Olvasóink a rendszer alapjait ismerik, a digitális hanganyag a PCM (pulse code modulation), azaz a hasznos tartalom, amit az IR panelnek ki kell sugároznia.

De hogyan történik a moduláció? Két lépésben. Első lépésben az IR sáv megfelelő szélességében a kívánt csatornákkal frekvenciában modulálják, az egyes csatornákat pedig a vivőhullám digitális PLL-es modulációjával juttatják ki (a modulációs módok magyarázatától e cikkben eltekintünk, korábbi cikkeinkben az olvasó a kérdésben tájékozódhatott, ill. tájékozódhat). Megjegyzendő, hogy azért ez a frekvenciatartomány sem végtelen! A teljes infravörös hullámsáv öt sávra oszlik, hiszen az élet legkülönbözőbb területei is igénylik az IR tartomány előnyeit. Az *IEC 61603-7* szabvány szerint konferencia-hangosításra a III. sáv felső tartománya és a IV sáv több mint fele áll rendelkezésre, azt mutatja a **44.a ábra.** Ezen a sávon lehet az egyes csatornák vivőhullámait elhelyezni, a *Gonsin* készüléke szerint egy 12 csatornás megoldást mutat a **44.b ábra**. Ez pl. elegendő egy anyanyelvi és tizenegy idegen nyelvi csatorna lesugárzására. Ez tehát nagy és igényes rendszer, ennek redukált változata a gyakoribb.

A vétel ennek megfelelően szintén kettős. Egyrészt hatalmas infrasugárzó panelek szórják be a teret a modulált információval, amit a vevőkészülékbe épített optovevő (fényelem alapú vevőcsip) érzékel, a beépített vevőelektronika veszi szelektíven szuperheterodin (hagyományos elvű) vevővel, mint digitális jelet, a csatorna szelektív behangolásával, majd egy D/A konverter alakítja hanggá és analóg módon fejhallgatóba (hangszóróba) vezeti. Egy ilyen tipikus készüléket (az ábrán éppen *Bosch* gyártmányút) mutat a **45. ábra.**

A vevőkészüléket a mellényzsebben lehet elhelyezni, praktikusan nem süllyed mélyre, a pánt megakasztja, csupán az érzékelő hengeres ablaka nyit a világra, célszerűen a látható fény szűrésével csak az infra jut az érzékelőre. Kis füldugó, vagy könnyű fejhallgató egészíti ki, a beépített tölthető akkumulátor a napi műszakot ellátja. Csupán a kívánt csatornát kell a nyomógombbal beállítani.

Az infra konferenciahangosítás alapvető kérdése, hogyan kell kialakítani a szerkezetet, hogy tiszta, tökéletes átvitelt lehessen produkálni. Szakirodalmi adatok és tapasztalati mérések a 4 mW/m^2 hordozónkénti IR sugárteljesítményt javasolnak, amivel az elterjedten alkalmazott FM/digitális PLL modulációs móddal 80 dB-es jel/zaj arányt lehet elérni. A normál emberi beszéd-



46. ábra

hez megfelelő a 30 dB AGC tartomány. Az IR sávon 2…6 MHz frekvenciatartomány áll rendelkezésre, csatornánként 100 Hz…14 kHz hangtartománnyal, fél százaléknál kisebb torzítással, ami tiszta érthetőséget közel HIFI minőséget ad. Ehhez a csatornákat 15 kHz-es vivőkön kell elhelyezni, kívánatos 70 dB-nél nagyobb csatornaszelekció. A D/A konverter utáni hangfeldolgozás és fej-/fülhallgató meghajtása már egyedi gyártmány kérdése.

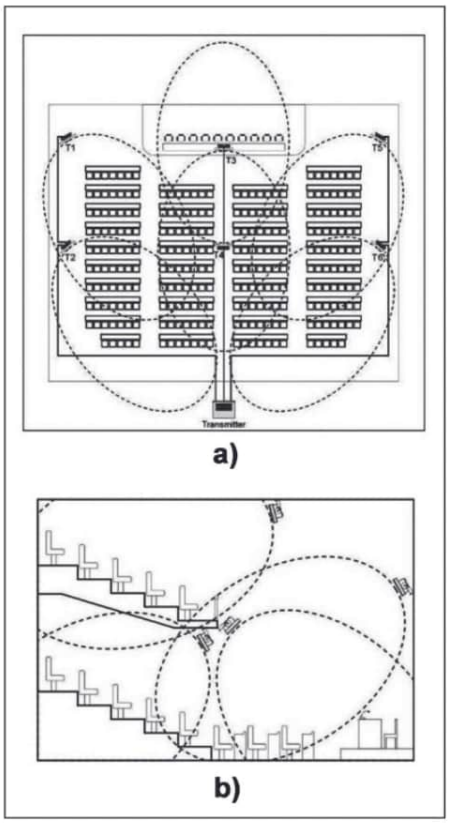
A zavartalan hangátvitelt természetesen az adó-vevőrendszer elhelyezése és a környezetei viszonyok erősen befolyásolják. Két alapvető zavaró tényezővel lehet számolni. Az egyik a környezeti világítás hatása, hiszen fényátvitelről van szó, a másik a hálózati zavarok, amelyek tranziens zavarhullámokat gerjesztenek. Ezek ellen főként infravörös szűrőkkel védekezünk. A **46. ábra** mutatja a jelforrásokat és az átvitelre felhasznált IR sávokat.

A konferencia-hangosító cégek ezeket a sávokat kedvelik. Legkönnyebb a világítási látható fénysugarakat kiszűrni, ezt a vevő fényérzékelő felületének sötétszürke takarásával oldják meg, a az adópanelek LED-jeit is fedik ilyen szűrővel, hiszen a LED-ben is keletkezhet kis mértékben zavaró látható fénykomponens, amit szemünkkel nem észlelünk, de a vevőben zavarjelekkel modulálhatja az adást (ezért láthatjuk a készülékek ablakait feketének). A világítás nemcsak sugárzás formájában zavarhat (interferenciát és egyéb nemkívánatos jeleket okozva), különösen veszélyesek a kisülő lámpák tranziensei (amelyekből nagy előadótermekben még sokat használnak), de a LED-es világítás fényerő-vezérlői, színhőmérséklet-szabályozói kapcsolóüzemű szabályozói is ilyen zavarforrások lehetnek. A statisztikák szerint a nagyobb hullámhosszúságú infra sávban a **46. ábra** II. sávbéli tartományban mérhető, annak ellenére, hogy ezek a készülékek szabványos zavarszűrőkkel vannak felszerelve. 1 MHz-en felül ezzel nem kell számolni.

A zavartalan átvitelhez fontos dolog a sugárzók elhelyezése. A látható fényhez hasonlóan az infravörös sugárzás is visszaverődik a felületekről. A tárgyak, valamint a falak szerkezete és mennyezetek befolyásolják az infravörös fény eloszlását. A sötét vagy érdes felületek elnyelik az infravörös energia nagy részét. A látható fényben átlátszatlan felületek általában átlátszatlanok az infravörös sugárzással szemben is. A hangsúly az „általában”-on van, mert bizony vannak kivételek! Egyes műanyagok átlátszatlannak tűnnek, például a távvezérlendő készülékek infravevő ablakai, pedig az infravörös sugárra átlátszók, csak a természetes világítás zavaró hatását vannak hívatva kiszűrni. Ugyanakkor az egyszerű átlátszó üveg kiszűri az infravörös hullámokat, ilyennel nem szabad pl. letakarni a mozgásérzékelő detektor vevőablakát, mert az gátolja a működést. A műanyagoknál tehát célszerű megfontoltan eljárni és célszerű kísérleteket lefolytatni.

A sugárzók mindig a hallgatósággal szemben helyezkedjenek el! A sugárzó teljesítményét közelítőleg méretezni kell a besugárzandó felület ellátására.

A **47. ábrán** két elrendezésre mutatunk példát, ami persze függ az adópanelek sugárzási szögétől is. A **47.a ábrán** vízszintes elrendezés látható, pódium van, ahol kerekasztal-beszélgetést is lehet folytatni, ezt a hallgatóság 5 sugárzóval hallja, a hatodik sugárzó a pódium felé irányul, hogy a vitapartnerek egymást is hallják. A sugárzókat magasan kell elhelyezni, (2…3 m), hogy a hallgatóság árnyékolását elkerüljék. Ha viszont a konferenciaterem lépcsőzetes (pl. egyetemi előadótermek stb.), akkor a **47.b ábra** szerinti 3 sugárzóval a hallgatóság van lefedve, a negyedikkel az előadó, kérdések megválaszolására.

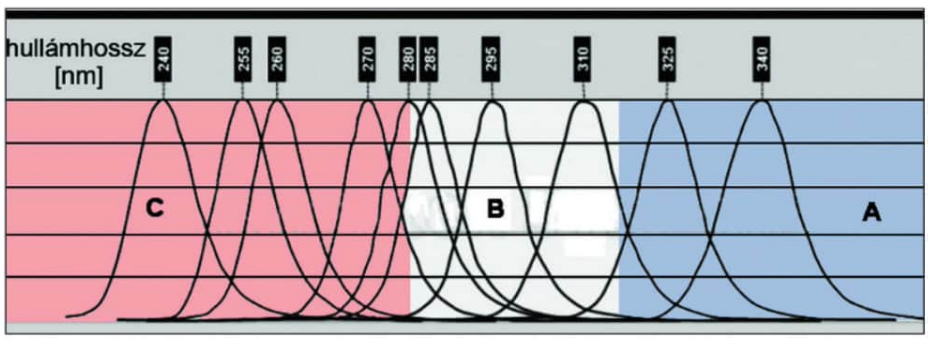


47. ábra

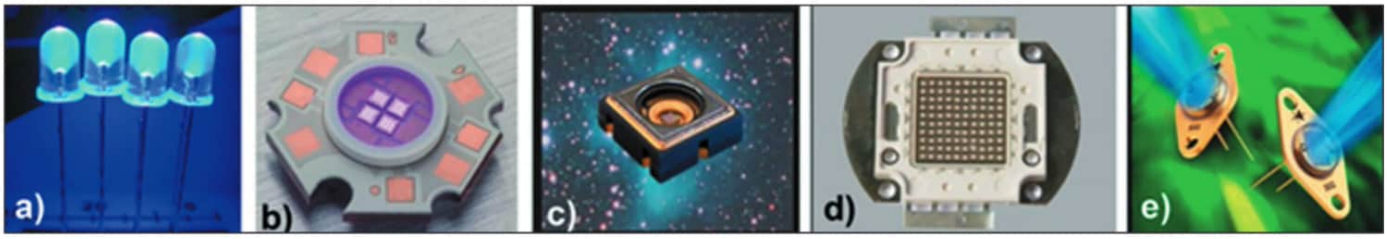
4. UV-LED-ek

4.1. Ultraibolya sugárforrások

Az ultraibolya sugárzási tartományt UV-*A*, UV-*B*, ill. UV-*C* altartományokra osztjuk (*lásd 1.1 fejezet, 1. táblázat*). A *C* tartomány kerülendő, rákkeltő hatá-



48. ábra



49. ábra

sú, az *A* és a *B* tartomány egészségügyi alkalmazásokban használatos (szolárium és D-vitamin képzés), bár a szembe jutását kerülni kell!

Az első UV-LED-ek anyaga InGaN volt, mára nagy a választék, akár 10 nm-es lépcsőkben is. Az UV LED-ek alkalmazási területei (lásd később) a keskeny sugárzási szögű, viszonylag erős sugárnyalábot igénylik, ezért a gyártók 15…30°-os sugárnyalábot adó optikai rendszerbe tokozzák a lapkákat.

Az UV LED-ek gyártmányválaszték széles, sugárzási erősségük néhány mcd-tól akár az 1000 mcd-ig is terjed. Sugárzási spektrumuk az *A*, *B* és *C* tartományban van. Az egyes LED-ek spektrumát **a 48. ábra** mutatja.

Nyitóirányú feszültségük a kék LED-ekéhez hasonlóan tipikusan 3,2 V. Tokozás tekintetében hasonló az infravörös LED-ekéhez, 3 és 5 mm-es epoxi és fémtokban, vagy SMD kivitelben is gyártják, sőt, teljesítmény-eszközként is. Az **49. ábra** mutatja a tokozási formákat: a **49.a ábra** Ø5 mm-es epoxi tokos, a **49.b ábra** teljesítmény-LED, a **49.c ábra** SMD LED, a **49.d ábra** LED array, a **49.e ábra** pedig keskenysugarú teljesítmény-LED.

Mire használjuk az UV-LED-eket? Széles alkalmazási körükből néhány tipikus példát említhetünk.

4.2. Élettani alkalmazások

Mint a 48. ábrán említettük, az UV LED-ek *A*, *B* és *C* kategóriába sorolhatók spektrumuk alapján. A hullámhossz-tartományok színezése szimbolikus jelentőségű, az *A* tartomány kissé átlóg a látható kék tartományba, a *B* tartomány az emberi szem számára láthatatlan, a halványvörösre színezett tokozású *C* tartományú sugárzó nem színe miatt vörös, hanem a veszélyre figyelmeztet, élő szervezetek számára egészségkárosító hatású! Mindhárom tartomány fontos, ezekből a LED-ekből hasznos készülékeket gyárt az ipar. Ezeket nézzük sorban.

4.2.1. Rovarirtás

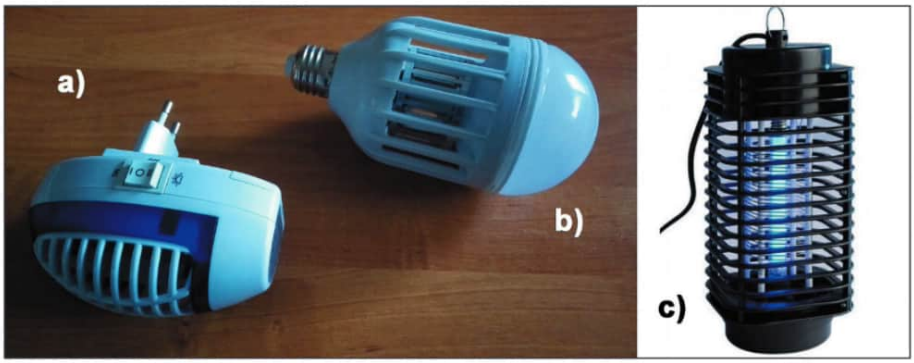
A rovarirtás fontos és érdekes terület, ugyanis ennél az alkalmazásnál az ultraibolya sugárzásnak nem a közvetlen egészségkárosító és pusztító hatását használjuk ki, csupán közbülső műveletként a repülő rovarok elleni csábító hatásra építjük a működést. A repülő rovarokat ugyanis az ultraibolya fény vonzza, rárepülnek a fényforrásra, de útjukba nagyfeszültségű hálót helyezünk el, amelynek résein nem tudnak átrepülni, testnedv-tartalmuk révén kisülést kezdeményeznek, amelynek során elégnek, elpusztulnak. Ezek a készülékek főként szúnyogok, legyek darazsak ellen hatékonyak. Az **50. ábrán** bemutatunk néhány kereskedelmi forgalomban beszerezhető készüléket. Az alkalmazott LED-ek UV-*A* osztálybeliek.

Az **50.a ábrán** egyszerű, hálózati konnektorba dugaszolható készüléket látunk. A 4 db UV LED a rácsos ablakhoz vonzza az élősködőt, amelynek a fény felé röptében fésűs elrendezésű nagyfeszültségű villán kellene átrepülniük, közben zárják az elektródákat és elégnek. Az elégett tetemek egy alsó gyűjtő tálcából kitakaríthatók.

Kertben, teraszon használt UV-s szúnyogriasztók mellett általában lámpát is kell használni (hiszen a vérszívók szívesen a sötétedéskor a lámpa fényére jönnek). Érdekes megoldást mutat az **50.b ábra**, amely egyesíti magában az UV-s szúnyogriasztót (és ha már LED, legyen „kövér") a világító LED-et is magában foglaló lámpát. Ekkor az UV LED-ek fénye nem olyan zavaró, hiszen a világítóeszköz fényébe közvetlenül ritkán nézünk.

Ezen praktikus szúnyogriasztó kezdeti példánya nagyobb volt, LED-ek helyett UV fénycsövet tartalmazott, hasonló működési elvvel, méretében nagyobb, asztalra tehető, kertben felfüggeszthető stb. Képét az **50.c ábra** mutatja.

Az UV-LED-es szúnyogriasztók elődjei nem kifejezetten otthoni használatra készültek, hanem húsipari üzemek, raktárak, áruházok nagyobb területek rovarmentesítésére, és az ultraibolya sugárkeltésre fénycsöveket használtak. Az UV-*A* spektrumot használják, amely tartós nézéskor káros hatással van látásunkra, de rövid pillantásra nem veszélyes. Ma már ezeknek is vannak LED-es változatai. Húselárusító helyeken, feldolgozó üzemekben, raktárakban nem első sorban a csípésveszélytől óv meg, hanem a még veszélyesebb peterakástól („beköpi" a légy). Méretük nagyobb (nem a lakószoba dísze), sokszor össze is keverik a fertőtlenítés céljára gyártott készülékekkel, az ún. „germicid" lámpákkal.



50. ábra

4.2.2. Fertőtlenítés

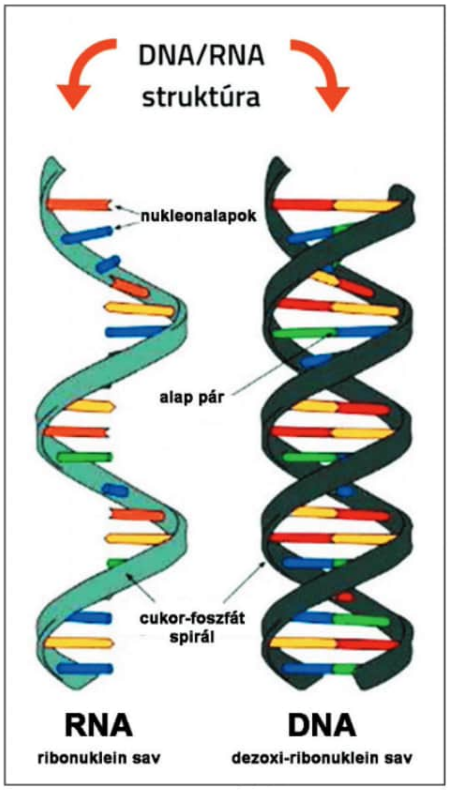
A rovarirtókhoz hasonló felépítésű, de fertőtlenítési célú készülékek is működnek ultraibolya sugárzással. Eredetileg ezek is fénycsövekkel működtek (és működnek még napjainkban is). Nevét „baktericid" (azaz latinos-orvosi eredete alapján) „germicid", azaz bakté-

riumölő hatásáról kapta, a szakmában germicid-lámpa néven ismert.

A fertőtlenítés célja az élősködő mikroorganizmusok megsemmisítése. A mikroorganizmusokat 3 csoportra osztjuk, ezek a baktériumok, a gombák és a vírusok. Tudom, hogy a rádiótechnikával foglalkozók a félvezetőket kedvelik, a bacilusokkal pedig foglalkozzanak a biológusok és az orvosok! Más a helyzet viszont akkor, ha az elektronikát hívjuk segítségül egészségünket károsító élősködők irtásához. Ezért röviden megnézzük, miről is van szó.

A *baktériumok* és spórái megtalálhatók levegőben, vízben, talajban, növényekben, állatokban és rothadó szerves anyagokban. Tízszer annyi baktérium van az emberi testben, mint emberi sejt! A legtöbb baktérium a bőr felszínén és az emésztőrendszerben található. A baktériumok nagy része ártalmatlan vagy hasznos, de akad néhány fertőző megbetegedést kiváltó patogén (kórokozó) baktérium is, mint például a kolera, szifilisz, lépfene, lepra vagy a pestis kórokozója.

Előkelő helyet foglalnak el a kórokozók között a *penészgombák*. Ezek többsejtű szervezetek, amelyek a gombák családjába tartoznak. A mérgező, allergiás vagy patogén tulajdonságokkal rendelkező penész a gombák egy speciális csoportja, amelyek toxikus reakciókat, allergiás reakciókat vagy betegségeket okozhatnak emberben vagy más élőlényben.



51. ábra

A *vírusok* rendkívül kicsi parazita szervezetek, amelyek nem szaporodnak, hanem egy gazdasejt átvételével maradnak fenn. A legelterjedtebb emberi betegségekért felelős, mint az influenza, megfázás, kanyaró, himlő, mumpsz, szemölcsök, de az állat- és növényvilágot is megtámadja: száj- és körömfájás, madár- és sertésinfluenza stb. Különös aktualitást adnak ennek a bekezdésnek a cikk írásakor még világméretű járványt okozó, nagyon nehezen leküzdhető Covid-mutációk.

A mikroorganizmusok sejtmagja a timint, a DNS/RNS kémiai elemét tartalmazza, amely érzékeny az UV-*C* sugárzásra, elpusztul tőle a sejt. Ez az elem elnyeli az UV-*C* fényt a 253,7 nm fajlagos hullámhosszon és olyan mértékben megváltozik (ti-minimerek képződése), hogy a sejt már nem képes szaporodásra és túlélésre, anyagcserezavart okozva károsítja a fehérje szerkezetét, a DNS/RNS kémiailag megváltozik, így az organizmusok már nem képesek replikálódni, metabolizálódni, így nem okozhatnak betegséget, további károkat. Az UV-*C* sugárzás azokon a felületeken hatékony, amit közvetlenül a sugárzás ér. A sugárzás nem hatol be az anyagba! A mikroorganizmusok DNS/RNS felépítését az **51. ábra** mutatja.

UV-*C* sugárzás a Napból is érkezik, ám szerencsénkre, ennek a 100…280 nm közötti hullámhosszú fénynek a nagyrészét az ózonpajzs kiszűri. Azért szerencsés ez, mert az UV-*C* sugárzás nem csak a vírusoknak, de nekünk sem tesz jót.

Az UV-*C* hullámtartományban működő fertőtlenítőknek napjainkban különös hangsúlyt ad, hogy nemzetközi adatok alapján az említett járványt okozó SARS-Cov-2 vírus a vizsgálatok alapján igen érzékenynek tűnik a sugárzással szemben. Ugyanakkor az UV-*C* fény erős szem- és bőrkárosító hatású is, különösen 222 nm feletti hullámhossznál. A 253,7 nm-es hullámhossz alatti sugarak alkalmazása mellett azonban számottevő ózon keletkezik, amely szintén káros az egészségre.

Nézzük ezek után, hogyan kell készíteni és méretezni az UV-*C* hullámtartományú LED-es fertőtlenítő sugárzókat! A lámpa teljes UV-*C* teljesítményét wattban (vagyis inkább µW-ban) és a besugárzási sűrűségét µW/cm²-ben fejezik ki. Egy bizonyos dózisszint szükséges az egyes mikroorganizmusok elpusztításához, ez az „adag" az idő (másodperc) és a µW-ban értelmezett UV teljesítmény függvénye. Az alacsony UV teljesítmény hosszú ideig ugyanolyan hatással lehet, mint a nagyobb teljesítmény rövidebb ideig. Az energia egysége a Joule (J), amely megfelel a W/s értéknek. Ha tehát LED-es sugárzót méretezünk, vagy vásárlunk, ezekből az értékekből kell kiindulnunk. A LED-ek adatlapjai tartalmazzák a kisugárzott teljesítmény értékét, ebből számolható az igényelt darabszám a besugárzandó felület ismeretében.

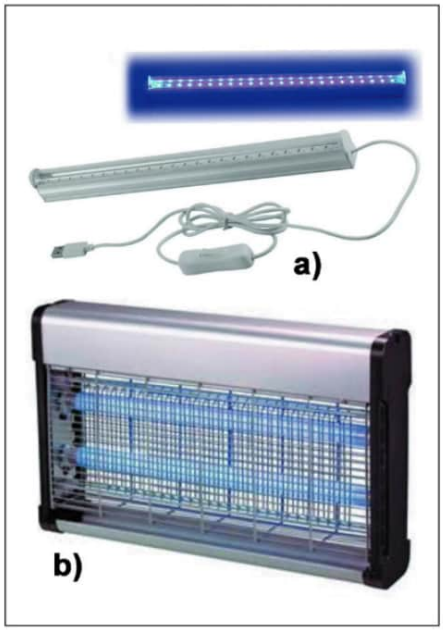
52. ábra

Az eddig kizárólagosan alkalmazott kisülőcsöves (germicid) lámpákat váltotta ki (a világítóeszközökhöz hasonlóan) a LED, amely több kedvező tulajdonsága révén abszolút győztesen kerül ki a versenyből. Ezt főként három dolognak köszönheti:

– a higany környezetszennyező hatásának kiküszöbölése (az UNEP, az ENSz Környezetvédelmi Programja) ugyanis azt a célt tűzte ki célul, hogy a higany felhasználását 2020-ig fokozatosan és a lehetőségekhez mérten kitiltsák a készülékekből,

– a nagyfeszültséggel működő és terjedelmes eszközt jó hatásfokú, hordozható készülékek számára célszerűen alkalmazható törpefeszültségű félvezetős sugárzóval váltják fel, amely egyéb előnyei mellett kitűnik legalább ötszörös élettartamával,

– mikroorganizmust ölő hatása több, mint tízszeres, germicidlámpás



53. ábra

fertőtlenítés időtartama legalább fél órás, amit hasonló idejű szellőztetés követ, de például az *LG Innotek* 100 mW-os UV-C LED-je mindössze 3,4 s alatt képes kiirtani az ételmérgezést okozó baktérium, a Salmonella 99,9% -át.

Nem csoda hát, hogy a LED-ek ezen a területen is új lehetőségeket adnak. Mit kínál az ipar?

Az **52. ábrán** két készüléket mutatunk be. Az **52.a ábrán** egy szabad tér fertőtlenítésére szolgáló „fényszórót" láthatunk, az **52.b ábrán** pedig egy hordozható fertőtlenítő dobozt, amelybe kéziműszerek (azaz orvosi szerszámok) helyezhetők. Ez utóbbi 5 V-os tápfeszültségről működtethető, tehát pl. USB töltőkészülékről táplálható.

A gyártók – mint ahogy a világítóeszközöknél látjuk – a hagyományos germicid fénycsövekkel működő fertőtlenítő készülékek számára UV-LED-es fényforrásokat is gyártanak, egy ilyent ábrázol az **53.a ábra.** Alatta az **53.b ábrán** egy hagyományos UV fénycsöves fertőtlenítő készülék látható, kétcsöves kialakításban. Az ipar készen áll a fénycső-LED váltásra, méreteit tekintve csereszabatos a váltás, ami persze amatőr szinten is megvalósítható. Ez az eszköz is működik 5 V-os tápfeszültségről, célszerűen akár mobiltelefontöltőről is.

Az UV-*C* hullámtartományban működő fertőtlenítő készülékeknél nemcsak szemünkre kell vigyázni, kellemetlen „mellékhatás" az ózonképződés is. Ennek belégzése tüdőnkre nézve jelent veszélyt, ezért van annyi szabály a fertőtlenítés lebonyolítására, amely idő alatt a légtérben senki sem tartózkodhat. Vannak viszont területek, ahol a kényszerű leállás más problémákat vet fel, erre gondolva fejlesztett néhány gyártó készüléket. Húsüzemi, vagy egyéb élelmiszeripari használatra ajánlanak olyan fertőtlenítő rendszereket, amelyben az UV sugárzó fényzárt térben működik, a helyiség levegőjét ventilátorrendszer hajtja át a fertőtlenítőn, kimeneti oldalán ózonszűrő működik, a munkahely megtisztított, ózonmentes levegőt kap. Az ilyen rendszer persze nem az olcsó kategóriába sorolható. És ha már „lúd, akkor legyen kövér", további ráfordítással a léghőmérséklet és páratartalom is kézben tartható. Ilyen professzionális célú berendezéseket gyárt a *Sanifica*, de kisebb dobozok, hordozható tároló-fertőtlenítők gyártói pl. a *Ledvance* vagy az *59s*.

4.2.3. D-vitamin bevitel, szolárium

Amíg az UV-*C* hullámtartományú sugárzás káros az élő szervezetre, addig az *A* és *B* tartományok kifejezetten hasznosak, bár itt sem árt az óvatosság, a mértéktelen strandolás kellemetlen következményeiről tudunk. Köztudott, hogy az UV-*A* és UV-*B* sugárzás bőrünk barnítása révén elsődleges D-vitamin beviteli forrás, egészséges életünkhöz szükséges. A napbarnítás és védőkenőcsök köztudottak, nem áll szándékunkban itt foglalkozni a napszaki ajánlásokkal. Az ember hamar rájött, hogy strandolási szabadideje és lehetősége kevés van, de a hétköznapi munkába belefér egy kis „mesterséges" napozás. Erre a célra az ipar széles palettával gyárt szoláriumgépeket, amelyek fénycsövekkel működnek. Az UV-*A* tartomány a pigmentképződést segíti elő, a gyors és azonnali lebarnulást okozza, az UV-*B* tartomány pedig a D-vitamin képzést segíti elő. A hangsúlyt a *B* tartományra helyezzük. A barnulás inkább divat kérdése, bár a pigmentképződés is az élettani folyamat része, mértéktelen igénybevétele a leégés, ami akár a napfény hatására, akár a szoláriumban bekövetkezhet, egészségkárosító hatású lehet. A sugárzás hatására a D-vitamin szintetizálódik a bőrünkben, legfontosabb funkciója a vér kalcium- és foszforszintjének szabályozása. Elősegíti a csontok megfelelő képződését, de erősíti az immunrendszert is.

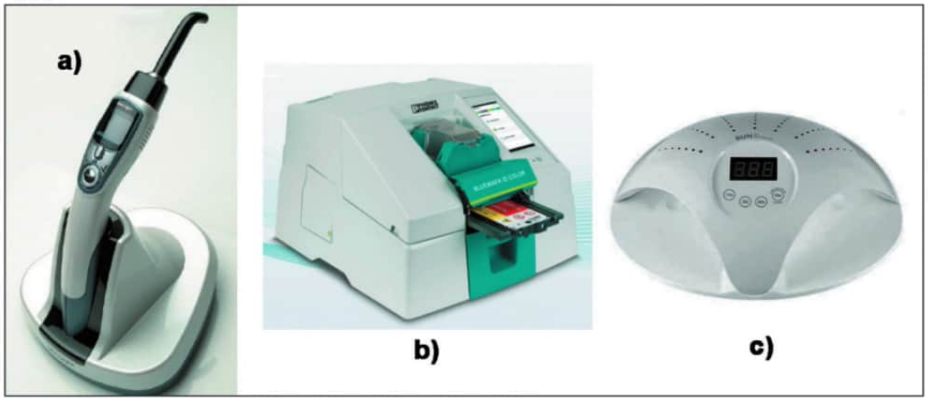
A szoláriumok (manapság még elterjedten) fénycsövekkel működnek. Ezek olyan kisülőcsövek, amelyek üvegfalát olyan fényporokkal vonják be, amely szekunder sugárzás révén az UV-*A* és UV-*B* hullámtartományban sugároznak, pótolva ezzel a természetes napsugárzást. A különböző fényporokkal különböző hullámtartományokat fednek le. A korszerű szoláriumok a többféle színű cső váltott bekapcsolásával programozhatóan tudják szabályozni a pigmentképződést és a D-vitamin képzést. Sajnos van néhány hátrányos tulajdonsága, amelyek miatt folynak a fejlesztések UV LED-ekkel való kiváltására. Ezek között a leglátványosabb az élettartam, amely nagyon véges (akár 100 óra nagyságrendben), a fényporok ugyanis vesztik aktivitásukat, nem véletlenül hirdetik a szoláriumok a „csőcserét", az új csövek jobban működnek. Nem másodlagos fontosságú a környezetvédelem sem, ugyanis az alapeszköz higanytöltésű kisülőcső, amelytől megszabadulni igyekszünk. Technikai szemmel kicsit érthetetlennek tűnik, mire vár az ipar, hiszen a jó hatásfokú és a fénycsöveknél sokkal szélesebb spektrumot átfogó LED-készlet áll rendelkezésre, mégis inkább csak „fejlesztési szinten" találkozhatunk kezdeményezésekkel. Van magyarországi fejlesztés is, gyártás viszont nincs. Valószínű oka a gazdaság tehetetlensége, hiszen hány évig kellett várni a LED-es lámpákra, amíg a kompaktfénycső-gyártó gépsorok ontották a lámpákat, amelyek sokszor néhány hónap (vagy tapasztalataim szerint inkább néhány óra) alatt tönkrementek. A LED-es szoláriumok tehát ki vannak fejlesztve, startra készek, az átállás hamarosan várható.

4.3. Az UV sugárzás egyéb alkalmazásai

Az ultraibolya sugárzásnak bőven vannak egyéb alkalmazási területei az életben. Mindegyikről lehetne az előzőkhez hasonló fejezetet írni, az olvasó sokszor találkozik a szakirodalomban. Itt tehát csak címszavakban jelezzük az alkalmazásokat.

4.3.1. Műanyagok polimerizációja

A műanyagok polimerizációja alatt azt a *kémiai szintézist* értjük, amelynek során két (vagy több) komponens (ezeket monomereknek nevezzük) egy nagymolekolájú műanyaggá (azaz polimerré) válik. A polimerizáció láncreakciószerűen megy végbe, melléktermék keletkezése nélkül. A polimerizációt kiválthatja hőhatás, vagy egyéb fizikai



54. ábra

55. ábra

behatás, de talán a legnagyobb hatékonyságú az UV sugárzás. Hogyan történik ez?

Az UV sugaras polimerizáció tulajdonképpen egy fotokémiai úton előidézett láncreakció, tehát a sugárzás katalizátorként működik. A képlékeny halmazállapotú monomerben található iniciátorokat az UV sugárzás úgynevezett gyökökké alakítja át. A gyökök egy szabad elektronnal rendelkező molekulák, amelyek kötést keresnek. A gyökök aktiválják az úgynevezett monomereket, és azokkal láncokba és mátrixokba kapcsolódnak, vagyis polimerizálódnak. A technológia alkalmazási területe nagy, néhányat kiemelünk.

A műanyagok kikeményítése jelentős szerepet tölt be a gyógyászatban, első sorban a fogászatban. A korábban előszeretettel használt amalgám fogtömés higanytartalma ismert egészségkárosító hatása következtében mára mellőzött anyaggá vált, helyette polimerizációval kikeményített anyagot használnak, amelyek csontkötéseknél operáció során is elterjedtek. Ezek lényege, hogy a művelet másodperc nagyságrendű idő alatt megtörténjen. Az **54.a ábrán** a fogászatban használatos UV-B LED-es lámpa látható.

Széles körben használja a technológiát a festékipar is, a polimer műanyaggá kikeményített festékréteg jól tapad a festett felülethez, nem repedezik fel, mint a hagyományos festék, megfelelő pigment-tartalom pedig gondoskodik az esztétikáról. A gyártósoron a sorba beiktatott fotopolimerációs lámpa (korábban UV-cső, manapság LED-sor) percek alatt gondoskodik a megfelelő kikeményítésről. Az elv egyedi és kimagasló alkalmazása a *Phoenx Contact* UV-nyomtatója. A cég eredetileg jelöléstechnikai eszközként ajánlja, felhasználása ennél sokoldalúbb lehet. Működési elve az irodai használatra és fényképészetre gyártott tintasugaras nyomtatókkal azonos, némi kiegészítéssel. A festékkazettában olyan oldószermentes jelölőfolyadékot használnak, amely a lakk kötőanyagán kívül megfelelő festékpigmentet, és a folyadékban oldott UV-iniciátort tartalmaz. A készüléket az **54.b ábra** mutatja.

A nyomtatás során az UV-iniciátor folyadék körülveszi a kötőanyagban elegyített festékpigmenteket, amit a gép a piezomembránnal a nyílásokon keresztül ráfröcsköl a felületre, közben működésbe jön az UV-sugárzó, ami gondoskodik a tinta kikeményedéséről. A nyomtatási eljárás teljesen mentes a károsanyag-kibocsátástól, mivel az alkalmazott folyadék nem tartalmaz oldószereket vagy illékony anyagokat.

Szintén nagy alkalmazási terület a kozmetikai ipar. A szoláriumok mellett egyre nagyobb tért hódítanak a körömstúdiók, az UV-sugaras lakk-keményítés forradalmasította ezt a területet is. A hagyományos körömlakk-száradásokra fél órákat kellett várni és az eddig használatos lakkok könnyen leperegtek. A fotopolimerizációs eljárással a gél-lakkok sokkal tartósabb festést eredményeznek, nem is beszélve a másodperc nagyságrendű száradásról, kikeményítésről. Az **54.c ábrán** egy kétkezes körömlakk-szárítót láthatunk.

4.3.2. Hologramolvasás, pénzszámlálás

A holográfia a *fény hullámtermészetén* alapuló olyan képrögzítő eljárás, amellyel a tárgy struktúrájáról tökéletes térhatású, vagyis *háromdimenziós* kép hozható létre. Feltalálója *Gábor Dénes*, aki 1971-ben ezért Nobel-díjat kapott. A zseniális találmány alapja, hogy amíg a normál fényképezés csak a képpontok színét és erősségét (azaz amplitúdóját) érzékeli és kétdimenziósan veti papírra, addig a holográfia a sugárzás fázisát is rögzíti, vagyis a képpontokról több kép készülhet, ami háromdimenziós megjelenést tesz lehetővé. Elméletét a szakirodalom részletesen tárgyalja, itt csak egy alkalmazásáról teszünk említést. Egy kézi gyors bankjegyvizsgáló képét mutatjuk az **55. ábrán.**

A működés lényege, hogy egy holografikus kép sok képet tartalmaz, amelyet ultraibolya sugárzással különböző nézőszögből meg tudunk jelentetni. Ezt a képet nem lehet hamisítani, ezért kiválóan alkalmazzák eredetiség jelzésre, és a bankjegyekre nyomva speciális jeleket, mint pl. a címleteket, sorszámokat stb. egyéb normál nyomdatechnikai képeket. Bankokban alkalmazott komolyabb pénzvizsgálók két hullámhosszal is dolgoznak, az általánosan használt UV-*A* 365 nm-es fényével és az UV-*C* 254 nm-es fényével. Ezekkel minden bankjegynyomra holografikus nyomatait ellenőrizni lehet.

Visszatekintés...

Szubjektív szakmai életrajztöredékek

Írta:

Lambert Miklós
okl. villamosmérnök,
digitális elektronika szakmérnök,
lambert@milambi.hu

1964-ben szereztem villamosmérnöki diplomát a Műegyetemen. Tervező mérnökként kezdtem dolgozni, alapvető motivációm a konstrukció, az alkotási vágy. Első munkahelyem a Hajógyár volt. Hogy miért éppen a hajógyár? Hiszen egy híradástechnikát végzett mérnöknek az Orionban, a Telefongyárban, BHG-ben stb. lett volna a helye, én pedig a „vasgyárat" választottam. Mindig is a kuriózumok vonzottak, a hajózás rádiótechnikája, navigáció, mélységmérés, úszási sebességmérés stb. témaköre.

Hogy ment a tervezői munka, hogyan hasznosítottam az egyetemen tanultakat? Bizony nem túlzok, ha azt állítom, hogy kezdetben a szaktárgyakat *sehogy!* Fél éves tervezői működésem során nem voltam boldog, eszembe jutottak *Bartha* prof szavai: „Mit fog maga csinálni a hajógyárban?" Később rájöttem mit kell tennem, meg is tettem, és ma büszkén jelenthetem, hogy mérnöki tevékenységem eredményeképpen bevezettem ebbe a „vasgyárba" az elektronikát.

Az MSZ szabványokat teljesen el lehetett felejteni, hiszen GOSZT, SSSR Tengeri Regiszter, Germanischer Lloyd, Lloyd Register of Britain, Norske Veritas tengerészeti szabványok szerint kellett mindennek működnie. A villamos hálózatok is teljesen mások voltak. A régi hajókon 220 V-os egyenáramú hálózat volt a fedélzeti csörlők és egyéb gépek számára, ill. egy 24 V-os vészakkumulátoros hálózat, a két rendszer egymástól és a hajótesttől való teljes galvanikus elszigeteltségben. A szárazföldi hálózatban megszokott földvezeték nem volt, minden fogyasztó két vezetéken kapta a tápfeszültséget, és persze a szigeteletlenségek miatt „kóboráramok" folytak mindenfelé, megkeserítették életemet a tranziens zavarok. Minden berendezés elektromechanikus volt, de néhány híradástechnikai berendezésben elektroncsövet használtak (pl. hajóradar). Mindez persze közömbös volt egy alkotásra vágyó villamosmérnök számára, belenyúlni nem lehetett, legfeljebb bekötni a tápfeszültséget.

Mihez foghattam hát? Félvezetős technikát szerettem volna bevinni ebbe a körbe. Tranzisztor az idő tájt legfeljebb a szerelőknél volt a rádiójukban, hogy ne legyen olyan egyhangú a munka!

A 70-es, 80-as években hatalmas fellendülés volt a félvezetős ipari technikában, a nyugati és amerikai félvezetőgyárak ontották újdonságaikat. Először szakirodalmi szinten nyitottam nyugat felé. Az Elektromodul ugyan bőven kínálta a szocialista országok alkatrészeit, én viszont a „nyugati" eszközökben jobban bíztam. Egyedül a szovjet gyártmányú tirisztorokat kedveltem, és ebben a témában kezdtem a Hajógyárban félvezetős tervezői tevékenységemet. Ez pedig a vészakkumulátor töltőberendezése volt. A könnyebb, kisebb töltő feltűnést keltett, és elismerést hozott számomra.

Rádöbbentem arra, hogy reménybeli működési területem nem a híradástechnika, hanem az ipari vezérléstechnika lesz. Az itt tervezett berendezéseim kiállták a típuspróbáztatás gyötrelmeit, a klímakamrától a penészvizsgálaton keresztül a rázás-ejtés mechanikai követelményeiig.

Megtanultam ugyan a tengerálló konstrukció robusztus felépítését és terveimben alkalmaztam is, de a gyártás nagy nehézséget okozott. A tervezés még csak ment rajtunk (ill. a Hajóvillamos Osztályon) keresztül, de a kivitelezés nem. A kis darabszámra való tekintettel külső gyártó nem vállalta, a hajóépítés viszonylag lassú, rapszodikus üteme, ráadásul a fizetés (az ismert tervgazdálkodási viszonyok közötti) bizonytalansága elrettentette a partnereket (szövetkezetek, kisüzemek, „maszekokról" szó sem lehetett) az együttműködéstől. A kutatóintézetek irreálisan magas fejlesztési költségei sem tették lehetővé a gyártást. Azok is fejleszteni szerettek volna, az én feladatom pedig a téma megfogalmazása és a munka követése, valamint a számonkérés lett volna, ami abszolút nem illett bele konstrukciós elképzeléseimbe.

Maradt hát a saját gyártás alapjainak megteremtése. No, de egy vasgyár kellős közepén? Pedig így történt. Konstrukcióim szakmai színvonala elismerést váltott ki, sorra részesültem komoly erkölcsi (és elég sovány anyagi) elismerésben. Elértem, hogy az angyalföldi gyár közepén régóta leszerelt régi kompresszorházat felújították és abból fejlesztő labort alakítottak ki. Ennek földszintjén mechanikai műhely volt (finomlemez hajlító, kiseszterga stb.), míg az emeleten kutató-fejlesztő munka folyt, a forrasztópákától

az oszcilloszkópig. A labor hallgatólagosan az irányításom alatt működött (el is nevezték „Lambertóriumnak"), és szervezetileg a tervezőiroda részévé vált. Itt készültek a fejlesztési mintadarabok, amelyek minősítő intézetében kerültek vizsgáztatásra. Az SSSR Tengeri Regiszter leningrádi intézetében nagy elismerést váltottak ki (többször elkísértem a konstrukcióimat), de egyszer a Germanischer Lloyd hamburgi intézetébe is elmentünk, egy holland megrendelésre készülő hajóhoz, mert ilyen is volt. Itt szintén jól vizsgáztak a készülékek a rázógépen és a klímakamrában. A laborvezető főnök őszinte csodálatának adott hangot, mikor megtudta, hogy a hajógyárban készültek. „Micsoda *wirtschaft* lehet maguknál, ott a vasfüggönyön túl, nálunk az ilyen készülékek a Siemensnél készülnek…"

A gyártás problémát jelentett, a hajógyári villamosműhely technológiailag nem volt erre felkészülve. Házi tanfolyamokat szerveztünk, amelyben magasan kitűnt a „Rádiós brigád". Mindenesetre 40...50 év távlatából ma már büszkén jelenthetem ki, hogy néhány év alatt tevékenységem folytán hoztam be a félvezetős technikát a hazai hajóiparba.

No de milyen konstrukciók születtek?

Az első konstrukcióim a hagyományos relés technika kiváltását célozták meg. Elsőként ezt félvezetősítettem, ami nem volt egyszerű feladat, hiszen a tranzisztorok érzékeny áramköreit az ipari zajok is szívesen működtették.

Kis fejlesztői csapatom kezdetben 3 mérnökből és két technikusból állt, de a külső ipari cégek részegységeire is sokat építettem. Így bejáratos voltam a MIKI, EMG, Gamma, Remix, TÁKI és MEV üzemeibe, laborjaiba, erős kooperációs tevékenységgel mind a fejlesztés, mind pedig a gyártás területén. Fő nyomtatott huzalozású panelgyártóm a MEV volt, szerelt „mikroelektronika" terén pedig a Remix (volt egyetemi évfolyamtársak segítettek). Szilíciumtranzisztoros logikai áramköri rendszerem 15 V-os tápfeszültséggel működött, ami részint immunis volt az ipari zajokra, részint pedig kompatibilis volt a 24 V-os vészakkumulátor hálózattal. Figyelemmel kísértem a technológia fejlődését is, kezdetben kis műanyag tokba kiöntött „kocka" formában gyárttattuk a Remixnél, majd jött a hibrid IC-s korszak, és vastagréteg integrált áramköri formában, 1×1 hüvelykes kerámia lapkára épített és műgyantával kiöntött tokozással gyártattuk ugyanott SITOMAT néven. Egy-egy Európa, vagy ESZR méretű kártyára 4 csatornás jelzőáramkör került. Ebből a SITOMAT-ból nagyon sok készült, a berendezés kártyáinak ellenőrzésére, tesztelésére külön készülék épült.

A jelzőrendszer sok objektumba belekerült. Hajók, majd később az úszódaruk megszokott eszköze lett. Nekem nagy megbecsülést okozott, hogy a távlati tervekbe belekerültünk. A hajógyártásba ugyanis kezdett belépni az automatizálási igény, a Germanischer Lloyd pl. 16 óránként ellenőrzött gépterek tervezését helyezte kilátásba. Egy ilyen lezárt géptéri automatikának a mintáját gyártottuk le és mutattuk be a Városligetben megrendezett ipari kiállításon, a Hajógyári Stand-szigeten, 1971-ben. Ez a géptéri automatika regisztráló rendszert is tartalmazott a gépi hibák naplózására, amelyet egy Kienzle nyomtatóval oldottunk meg. Vezérlését persze a mi rendszerünk biztosította. Standunkat meglátogatta az akkori ipari miniszter is, és amikor büszkén emlegettem a saját fejlesztésű vastagréteg IC-inket, megjegyezte, hogy a Texas áramkörei milyen jók, és a Mikroelektronika is gyártja, mire én: a bemutatott rendszer 104 db Texas TTL IC-t tartalmaz! Mai szemmel erre is büszke vagyok.

A hajók lassan kifutottak a gyártmányaink sorából, igény mutatkozott úszódarukra, amelyben nagyon jók voltunk. A daruüzem újabb kihívások elé állította a konstruktőröket, nemcsak a gépészeket, a villamosokat is. Előtérbe került a daruüzemmód energetikai kezelése és a biztonsági kérdések. Mindkét területen átlagon felülit alkottunk.

Az energetika érdekes kérdés volt, ennek automatizálására az ipar nem gyártott berendezéseket, amit raktárról szállíthattak. Mi is volt a probléma?

Az úszódaru energiaellátását dízelmotor, ill. -motorok végezték. Egy-egy ilyen gépcsoport több generátort is hajtott. A tisztán váltakozóáramú rendszerekben aszinkron motorok működtek. A gémbillentést és forgatást (ha forgódaruról volt szó) többnyire rövidrezárt motorok hajtották, fordulatszám szabályozásra általában nem volt szükség, az emelésnél viszont igen. Ma már kézenfekvő, hogy ilyenkor inverteres hajtást kell alkalmazni (ilyesmi fejlesztésén még csak ábrándoztunk), a gyakorlati megoldás csúszógyűrűs motorok alkalmazása volt, rotorköri ellenállások (eléggé veszteséges) kapcsolgatásával, fokozatokban. Gyors rakodódaruknál (nálunk 16, 25, ill. 32 tonnás) a teher süllyesztésekor az emelőmotor generátoros üzemmódba került, fékezni kellett. Teljesítményszabályozásra volt igény, egyenáramú és váltakozóáramú rendszerekben egyaránt, ugyanis valódi finom fordulatszám-szabályozást hagyományos módon Ward-Leonard gépcsoporttal lehetett megvalósítani, amelynek fő szállítója a Ganz Villamossági Gyár volt. Ekkor tehát olyan komplex dízelmeghajtású gépcsoportokat kellett teljesítmény-szabályozni, amelynek tengelyén egyáramú és háromfázisú szinkron generátorok üzemeltek. A megoldást elektronikus teljesítménymérés jelentette, váltakozó áramú rendszerben az $U \cdot I \cdot \cos\varphi$, egyenáramon pedig az $U \cdot I$ mérőjele. Erre szintén nem gyártott az ipar mérőelemeket, áramváltók és söntök voltak, a fázisszög mérésére a hagyományos rendszerekben nem is volt szükség. Megjelentek azonban az analóg szorzóáramkörök, amelyben az amerikai Analog Devices járt élen. Be is szereztük, rövid idő alatt kifejlesztettük az AD530-as IC-vel tervezett teljesítménymérő kapcsolást, amelyet azután sok konstrukcióban elhelyeztünk. A szorzóáramkörös teljesítménymérő egyik fő előnye az volt, hogy közös gépcsoportról üzemelő egyen- és váltakozóáramú energiarendszer áram- és feszültségjeleinek összegét, ami a meghajtó dízelmotort terhelte – galvanikus leválasztással – mérni lehetett. Ennek egy tipikus felhasználási területe a Dunán ma is üzemelő Clark Ádám úszódaru eredeti, első kiviteli formája volt. Itt az akkori legnagyobb teljesítményű dízelmotor-túlterhelését megakadályozó elektronika kellett, a fogyasztói prioritások beállításával, intenzív daruüzemben kevésbé fontos fogyasztók teljesítmény-korlátozásával.

A másik nagy felhasználási terület (több mint 100 darab készült belőle) a gyors rakodódaruk tehersüllyesztési visszatáplálása volt. Ilyenkor a szorzóáramkör kimeneti feszültsége polaritást váltott, az emelőmotor generátoros üzemmódba váltott, és meghajtotta a dízelmotort. Ennek fordulatszámát a regulátor mechanikus szerkezete próbálta megfogni a gép veszélyes üzemmódjával. A feladat tehát az volt, hogy a teher süllyesztéskor keletkező visszatáplált teljesítményt valamivel el kellett fogyasztani. Erre veszteséges megoldás, egy nagy fémellenállás szolgált, amit a visszteljesítményt mérő elektronika jelének egyszerű komparálásával lehe-

tett megoldani. Ennek a készüléknek Regamat nevet adtunk (rekuperációt gátló automatika).

Az úszódaru korszak kiemelkedő elektronikai rendszere a daruzási paraméterek mérése, biztonsági beavatkozása. Egy olyan nyomatékhatároló rendszert fejlesztettünk ki, amely az emelést letiltotta túlterhelésnél, amit a gémkinyúlás, ill. a pontondőlés is befolyásolt. Ekkor alkottuk meg a pontondőléssel korrigált nyomatékhatárolás fogalmát. Ez egy digitális elektronika volt, amelyet Cranodyn-nak (dinamikusan korlátozott nyomatékhatárolás) neveztünk el, persze szabadalmaztattuk.

A találmányi bejelentésnek különösen kedvező üzleti hatása volt, ami annak idején „tőkés export" formájában jelentkezett. Történt ugyanis, hogy Uruguay egy 200 tonnás hatalmas, háromgémes forgó úszódarut rendelt, amelynek versenytárgyalására a főkonstruktőr utazott ki. A tárgyalás során kiderült, hogy a leendő vevő olyan szereléshez kívánja használni a darut, amelynek során 200 tonna fedélzeti terhet is rakodnak fel-le, erre a megterhelésre viszont már a pontontest jelentős dőléssel válaszol. A Cranodyn-elvű elektronika viszont mérte a ponton dőlését, amivel korrigálta a teherbírást. Így a Ganz Danubius nyerte a tendert, feltehetően ma is működik a darunk.

A Cranodyn rendszerből több, az adott daruhoz kialakított változatban mintegy 100 db került szovjet szállításra (35 tonnás), az összes tőkés óriásdaru (brazil, uruguayi, jugoszláv stb.) ilyen rendszert kapott.

A piaci verseny élénkülése (az „új gazdasági mechanizmus") jeleként a Hajógyár is bevezette az alkotói díjat, évente jutalmazta az arra érdemes konstrukciók vezetőit. A félvezetős elektronika hajógyári sikeres bevezetése elismeréséül két alkalommal II. fokozatú, két alkalommal pedig I. fokozatú Alkotói Díjban részesültem. A vállalaton túl mutató kitüntetés a feltalálói díj volt. Minden gondolatot megpróbáltam „újszerű megoldásként" megfogalmazni, sok beadványom végeredménye 7 elfogadott találmány, amelyből 1985-ben bronz fokozatú, 1989-ben pedig arany fokozatú Kiváló Feltaláló címet kaptam

A gazdaságot akkoriban erősen befolyásolták a politikai változások. Bár mi az Angyalföldi Gyáregységben „csodákat" alkottunk, ezt igazából nem sikerült a többi gyáregységbe átvinni, bár szükségességét jeleztem a vezérigazgatóságnak. A változás végül meg is született, kiszerveztek bennünket egy kisszövetkezetbe, amelynek feladata a tervezésen túl a gyártás is volt. Új tervező csapatom nem tudta felvenni a régi szellemet, a gyártás ilyen kicsiben nem volt életképes önálló piacra lépéshez, a hajógyári összecsukló rendelésekből nem lehetett megélni. A hajógyár összeomlóban volt, rövid idő alatt eltűnt a föld színéről. – Ha a Duna-parton sétálok, még látom a hajdani sójatér lejtős pályáját, 20-30 cm átmérőjű fák nőttek rajta...

Ennyi volt hát a 23 éves fejlesztői hőskorszak, az azt követő 7 év gyártás és folyamatos leépülés, de mindenekfelett a maradandó emlékek.

A rendszerváltás viharában képtelen voltam életképes vállalkozásba átvinni tapasztalataimat, hiszen a felhasználó megszűnt, ezért az ismeretanyagomat a szakirodalomban érvényesítettem. Szakkönyveket írtam (közöttük kettő német nyelven is megjelent), majd a NYÁK-EXPRESSZ Kft.-vel megalapítottuk az „Elektronet" c. szaklapot, amelynek főszerkesztője lettem, amelyet 23 évig láttam el.

Nem lebecsülve a többi szaklap tevékenységét, de – úgy vélem –, az Elektronet az iparág vezető szaklapjává vált, átlagosan 80...100 oldallal, de volt 140 oldalas számunk is. A munka nem volt egyszerű. Indulásunkkor szakmailag a legerősebb és legnépszerűbb lapnak már akkor is a „Rádiótechnikát" tartottam, de kerestem az utat a profi elektronikai ipar és a barkács szint között, mert (a külföldi szaklapok példájából is) tudott dolog, hogy a fejlesztői munka és az amatőrködés között legfeljebb műszerezettségi-szerszámozottsági különbség van. Ezért az Elektronetben részint előszeretettel mutattuk be a „nagyok" sikeres konstrukcióit, amelyet nem mellékesen hirdetésekkel támogattak. Másrészt viszont hazai szerzők cikkeivel növeltük az olvasottságot, és helyet adtunk végzős egyetemi hallgatók, doktoranduszok cikkeinek is. A lap elsősorban az alkatrészek témáira épült, ami feneketlen teknőnek tűnt a piacgazdálkodási viszonyok között, az embargók megszűnésével. Akkoriban települtek be a multinacionális gyártók is hazánkba, behozva a „high tech"-et.

Talán érdemes megjegyezni, hogy milyen stílusban, hangnemben szóltam az Olvasóhoz. Mind szerzői mivoltomban, mind szerkesztőként alapelvem (mindmáig) az olvasó maximális kiszolgálása, hogy ne unottan dobja félre az írást, lapot, könyvet. Mindig igyekszem közérthető lenni, tehát a kézzelfogható gyakorlat alapján magyarázni, de *tudományos igényességgel*. Nem kedveltem az egyetemen a végtelen kis kiterjedésű pont mozgásegyenletét, a végtelen vékony hajlított szál differenciálegyenletét, amit nekem kellett adaptálni valóságos anyagú testekre. Kell tehát a differenciálegyenlet, de kell annak fizikai magyarázata is. Magam is sokat amatőrködtem, és tiszteltem (tisztelem) a mai amatőröket is. Konstrukciós versenyek zsűrijében vettem részt, évekig mérnöktovábbképző tanfolyamokat vezettem és az elmúlt években aktívan közreműködtem forrasztási versenyek szervezésében, a vírus-sújtotta időben online módon is. 17 szakkönyvemben mindig hivatkozom gyakorlati alapokra, sőt, a tavaly megjelent *„egyszerűen – elektronika"* című könyvem kifejezetten a fiatal, elektronikát kedvelő pályakezdőkhöz szól (https://youtube/19xRmhr7h64). Forrasztástechnikával foglalkozó könyvemet (*Lágyforrasztás és alternatív kötések az elektronikában*, szerzőtársammal) pedig sikeresen forgathatja az amatőrtől kezdve a profi gyártástechnológusig minden szakember.

A gazdasági válságok és politikai viták az ezredfordulót követően kezdték az érdeklődést az élet más területei felé tolni, más szaklapok is felzárkóztak (különösen a Magyar Elektronika). Korábbi években a szakkönyvírás és folyóirat-szerkesztés mellett kiállításokat és konferenciákat is szerveztem, hozzáértő munkatársakkal (Hungelektro 1996-2002, ElectroSub 2017, 2019), sőt, a Hungexpo tavaszi rendezvényein is standokat szerveztünk. Úgy éreztem, hogy a nem kevés eredmény melletti sok szélmalom-harcba belefáradtam, és 2013-ban átadtam főszerkesztői posztomat, néhány évig még a szerkesztő bizottságot vezettem.

2014-ben lettem 50 éves aranydiplomás villamosmérnök, akkor már 14 éve nyugállományban. Töretlen munkakedvvel foglalkoztam a 2008-ban alapított Magyarországi Elektronikai Társaság, mint civil egyesület szervezésével. A MELT-ben 10 évig elnökeként, jelenleg tiszteletbeli elnökként próbáltam ismereteimet továbbadni. A szakirodalmi tevékenységemet még ma is folytatom.

(E sorozatunk a 2012-es évkönyvünkben kezdődött. – *A szerk.*)

Kivezérlésmérők – tegnap és ma

Csiszár János okl. villamosmérnök,
csiszarjanos@t-online.hu

A cikk két kivezérlésmérő megvalósítását írja le. A műszerek technikai jellemzői szinte pontosan megegyeznek, a kialakítás módjában viszont nagyon különbözőek. Ez a különbség abból adódik, hogy a két típus tervezésének időpontjai között eltelt több, mint harminc év... (A cikk ábraanyaga – a jobb olvashatóság végett – honlapunkról, ezen évkönyv tartalomjegyzékénél letölthető. (– A szerk.)

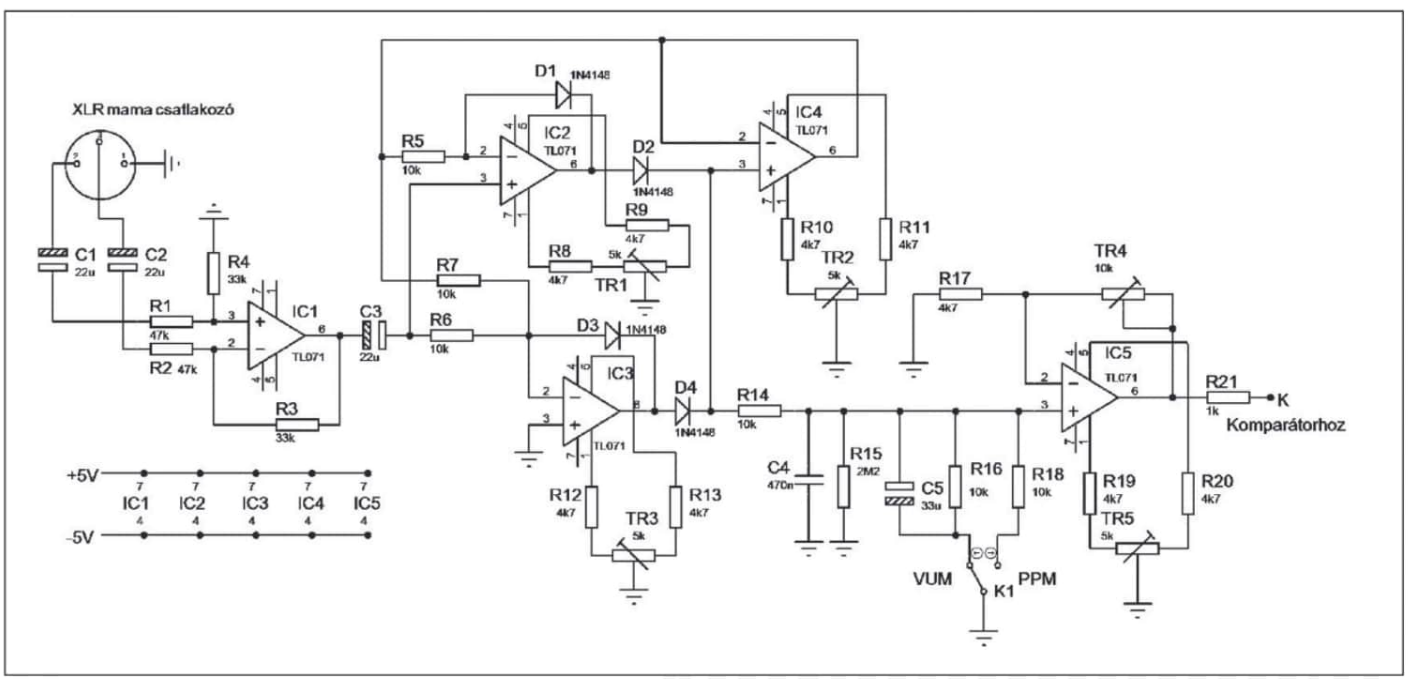
HARDVERES MEGVALÓSÍTÁSÚ KIVEZÉRLÉSMÉRŐ

Az első műszer megszületésének konkrét előzménye volt. Egy filmszinkronstúdió részére készült több példányban abból a célból, hogy a stúdióban a hangfelvétel és a hangátírás (mágnes szalagról optikai hangra) műszaki színvonalát magasabb szinten lehessen biztosítani. A Pannónia Filmstúdió az 1980-as években még a Siemens&Halske gyártmányú, elektroncsövekkel felépített keverőasztalokat használt a hangfelvételekhez. Ezek megszületésük idején, a 60-as években, korszerű hangtechnikai berendezésnek számítottak, hiszen akkoriban a hang rögzítése szinte kizárólag mágneses elven történt. Ehhez illeszkedett a keverőasztal monitorrésze, így a kivezérlés mérésére szolgáló műszer is.

A mérőműszer „VU (Volume Unit) meter" volt, vagyis a hangesemény átlag hangerejét mérte. A műszer felfutási és visszatérési ideje is 300 ms értékű volt, a „VU" szabványnak megfelelően. A viszonylag lomha műszer miatt időnként túlvezérlődött a mágnesszalag, de ez a tény a mágneses anyag ellaposodó hiszterézis görbéjének köszönhetően egy bizonyos túlvezérlésig nem okozott jelentős hallható torzítást.

A pontosabb kivezérlés elérése érdekében szükségessé vált egy „PPM" (Peak Programme Meter) alkalmazása, amely nagy segítséget jelentett a mágnes hangra történő felvételeknél, de elengedhetetlen volt az alkalmazása az optikai hang átírásoknál. Ebben az esetben ugyanis a hang maximális kivezérlésének éles határa volt, pontosan a hangcsík mechanikai szélessége. Ezt a maximális amplitúdót egy kicsivel is túllépve a hanghullám négyszögesedett, emiatt jelentős számú harmonikus keletkezett, torzítás képződött. Ezek az átírások mágnes hangról optikai hangra akkor történtek, ha a végtermék filmszínházban történő bemutatásra készült. A magyar szinkronhangot ebben az esetben a filmszalag szélére kopírozott optikai hangsáv tartalmazta. A televízió részére készült szinkronhang viszont mindig mágnes hangon került átadásra.

A készítendő műszer műszaki specifikációját több tény befolyásolta:
– alkalmazkodnia kellett a fennálló stúdiótechnikai rendszerhez, vagyis a



1. ábra

műszer bemenete földfüggetlen, szimmetrikus kellett, hogy legyen, 0 VU = 1,55 V_{eff} = +6 dBm;
– bemenő impedanciája alkalmazkodjon a keverőasztal kimenő impedanciájához, vagyis annak legalább százszorosa legyen;
– alkalmazkodjon a kijelzési szabvány időállandóihoz (PPM, VU);
– a kivezérlésmérő egy hangtechnikai mérőműszer, ennek megfelelően a pontossága az aktív tartományban (+5 dB...-20 dB) ±0,5 dB, vagy jobb legyen;
– működési pontossága időben állandó legyen (invariáns), a hőmérséklet változása vagy a feszültség ingadozása ne befolyásolja a mért értéket;
– a kijelzés módja feleljen meg a 80-as évek kijelzési technológiájának. (csúcsérték-memória, amely automata, manuális törlésű vagy kikapcsolható).

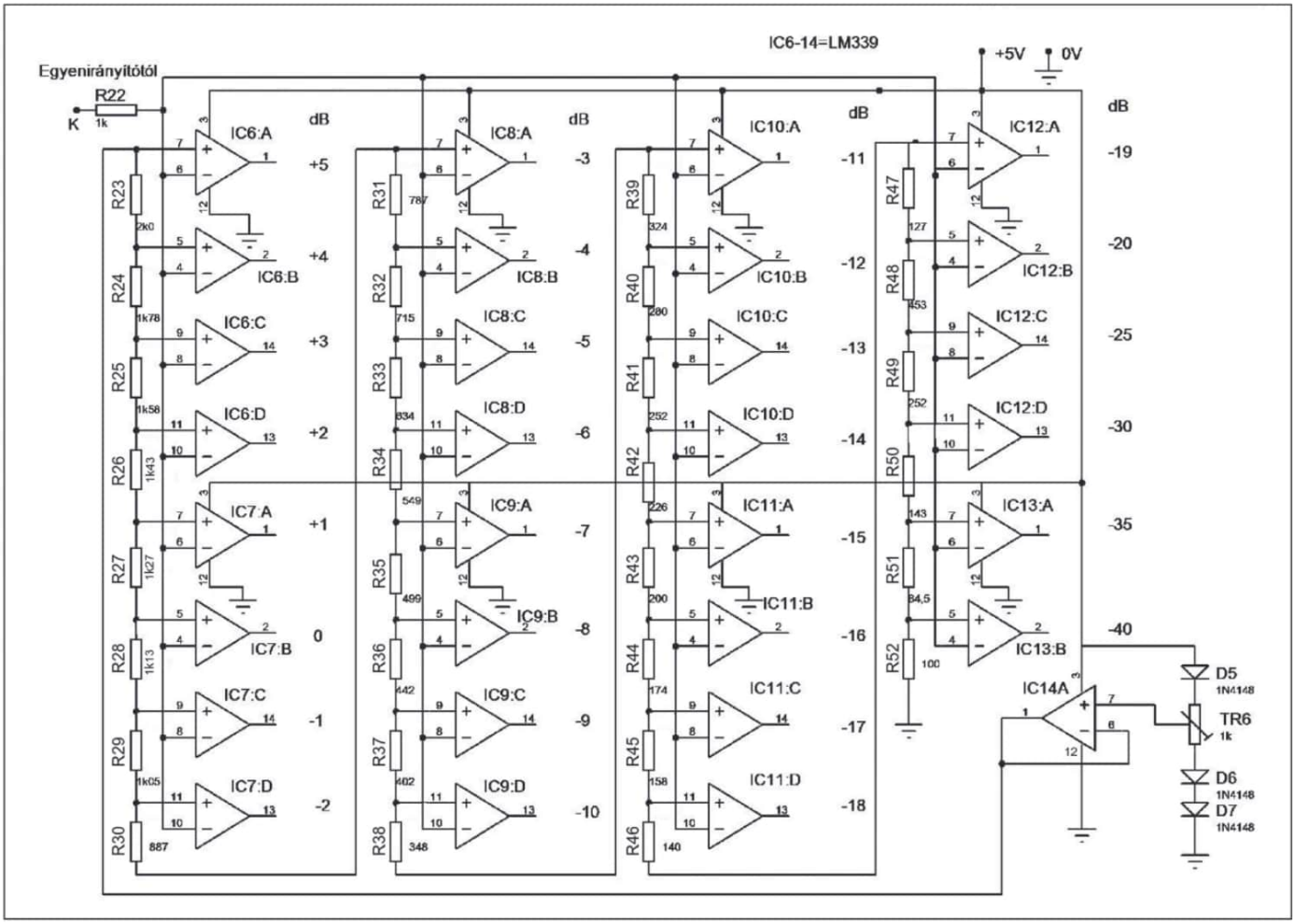
Fentieket megfontolva a műszer a következő egységekből állt össze:
– teljeshullámú egyenirányító, amely biztosítja a szabványos felfutási és visszafutási időértékeket is;
– komparátorsor és ellenállásosztó, a mért értékek kijelzésére LED-ek felhasználásával;
– digitális csúcsérték memória, „AUTO”, „MAN”, „OFF” üzemmódokkal, vagyis a csúcsérték memória automatikusan vagy manuálisan törölhető, illetve kikapcsolható;
– adatgyűjtő (LED-állapot lekérdező) és kijelző áramkör;
– tápegység az aktív elemek tápellátásához.

Teljeshullámú egyenirányító

Az egység felépítése az **1. ábrán** látható. A műszer mono kivitelű, hiszen a 70-80-as években a magyar TV csak monaurális műsort sugárzott, a mozik nagy többsége szintén monohangot közvetített. Ezért készült szinte kizárólag csak monohang a szinkronfilmstúdióban. A Dolby Stereo hang filmszínházakban történő általános elterjedéséig pedig még jó néhány évnek kellett eltelnie.

Az IC1 egy illesztőfokozat a stúdiórendszer és a mérőműszer belső szintjei között. A földfüggetlen, szimmetrikus csatlakozást valósítja meg fizikailag a bemeneti XLR csatlakozó. Az IC1, mint kivonó erősítő, illeszti a belső aszimmetrikus jelvezetéshez és a műszer belső feszültség szintjéhez a stúdiórendszert. A stúdió szint és a műszer belső szintje közötti eltérés illesztése miatt az első fokozat „erősítése” 0,7-szeres. A bemenő ellenállás 47 kohm, amely megfelel a kezdeti feltételnek, ugyanis a keverőasztal kimenő impedanciája 1 kHz-en 50 ohm, ennek kb. ezerszerese a műszer bemenő ellenállása. Emiatt tehát nem lesz feszültségcsökkenés a keverőasztal és a kivezérlésmérő összekapcsolásakor.

Az IC2, IC3 és IC4 alkotja a precíziós, teljeshullámú egyenirányítót. A pontosság érdekében az előálló ofszet feszültségeket trimmelni kell, ezt végzi el a TR1, TR2, TR3 és TR5 trimmer. Az IC5 köré épülő áramkör végzi el a VUM és PPM üzemmódokhoz tartozó időállandók beállítását. A C4-R15 a PPM visszafutási idejét állítja be. A felfutási idő értékének meghatározója a C4-R14 tag. A C5-R16 által képviselt időállandónak megfelelő a VUM visszafutási idő (300 ms) értéke. A műszer



2. ábra

kétféle kivitelben készült, átkapcsolható PPM/VUM karakterisztikával, vagy csak a PPM szabvány szerinti időállandókkal. A fotókon a PPM műszer képei láthatóak. A teljeshullámú egyenirányító kimeneti DC szintjét TR4 trimmerrel állíthatjuk be.

Komparátor

Az elképzelés szerint LED-sor jelezze ki a hangjel szintjét. Kérdés, hogy hány LED-ből álljon a kijelző? Nem szabad elfelejteni, hogy egy filmszinkronstúdió hangmérnöki helyiségében félhomály uralkodik, hiszen a szinkronizálandó képet is jól kell látni. A jó láthatóság és leolvashatóság érdekében 5 mm-es LED-ekre esett a választás. A keverőasztalokon található VU meter jól leolvasható tartománya (ami egyben az aktív kivezérlési tartomány is) kb. -15...-20 dB a 0 VU-hoz képest. Ezt kell megvalósítani a LED-es verzióval is, tehát -20 dB-ig 1 dB felbontás szükséges, ez teljesíti a ±0,5 dB pontosságot is ebben a szint tartományban. Tehát 0 dB-től -20 dB-ig 21 db LED szükséges, ez alatt a szint alatt elég 5 decibelenként 1 db LED, vagyis -25, -30, -35 és -40 dB értékűek. Az esetleges túlvezérlést is jelezni kell, erre a célra 5 db LED-et használhatunk 1 dB felbontással. Ezzel a kijelezhető maximális szint 1,55 V_{eff} + 5 dB, vagyis 2,756 V_{eff}.

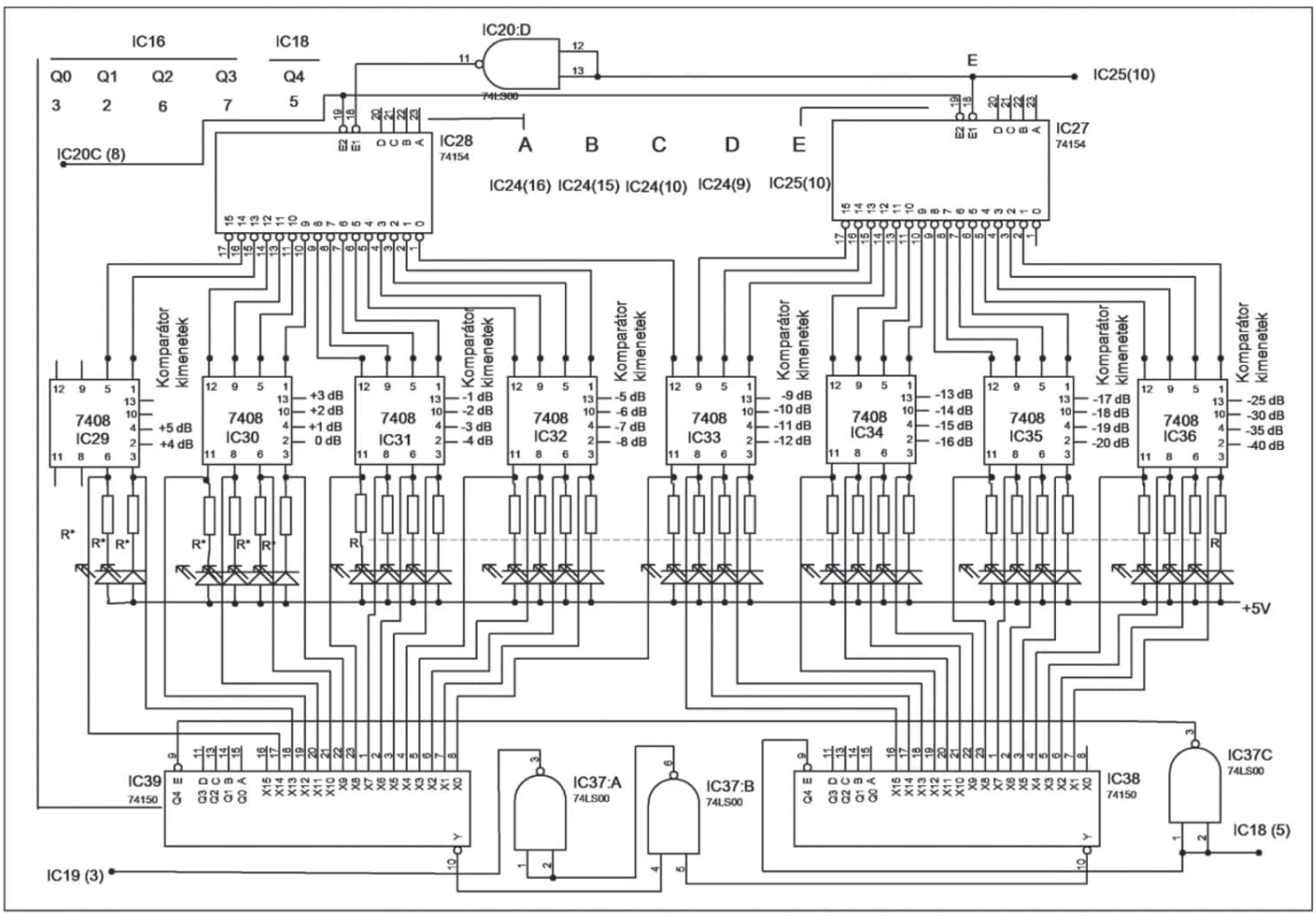
A LED-ek száma tehát 30, ez egy 150 mm hosszúságú skálát jelent, amely nagyságrendben megfelel a keverőasztal VU műszere méretének.

Az elképzelés az volt, hogy egy ellenállásosztó állítsa elő a skála feszültség (dB) értékeit, az ellenállások időben közel állandónak tekinthetőek, tehát a kijelzés pontossága nagyon kis hibával állandó marad az idő függvényében. Az ellenállásosztó pontjai komparátorokhoz kapcsolódnak, ezek átbillenése hozza működésbe az aktuális LED-et, úgy, hogy ennél a feszültségnél kisebb feszültségekhez tartozó LED-ek már világítanak. Ennek eredményeképpen az illető szintnek megfelelő „LED bar" (világító LED-csík) látszik.

A 30 db komparátor IC-ből álló áramkör kapcsolási rajza látható a **2. ábrán**. Az ábrán látható komparátor sort 8 db LM339 komparátor IC-vel hozhatjuk létre. Az ellenállásosztó legalsó tagját határozzuk meg 100 ohmban, ehhez képest és a decibelosztásértékek ismeretében számolhatóak ki az osztó többi tagjai. Az osztó pontjai a neminvertáló bemenetekre csatlakoznak, vagyis ha az osztó által meghatározott feszültségnél nagyobb az invertáló bemeneten a feszültség, akkor a komparátor kimenete földre kerül. Ez aktiválja majd az aktuális LED-eket, egy később tárgyalandó áramkör segítségével. Ez az áramkör (egy „ÉS" kapu sorozat) ahhoz szükséges, hogy **egy** bizonyos LED-et aktiválni tudjon az amplitúdóérzékelő komparátor áramkör, valamint ugyanezt a LED-et a feszültségcsúcs kijelzését végző áramkör is működtetni tudja..

Az 1 dB osztáshoz tartozó ellenállásértékek szinte biztos, hogy nem szabványosak, de az E96 ellenállássor nagyon jól megközelíti a számolt értékeket. Az ellenőrző mérés során kiderült, hogy a szabványos ellenállássor értékeinek eltérése a számolt értékektől, emiatt az osztásarány változása az elhatározott ±0,5 dB értéknél kisebb.

Az ellenállásosztó referenciafeszültségét az IC4A integrált áramkör



3. ábra

biztosítja, a feszültség értékét (ezzel együtt a skála 0 dB-s pontját) a TR4 trimmerrel állíthatjuk be.

Adatgyűjtő és kijelző áramkör

A **3. ábra** szerinti áramkör végzi a bemenőfeszültségnek megfelelő számú LED aktiválását, illetve egy másik áramkör segítségével azt állapítja meg, hogy ég-e valahol LED és ez a LED melyik a harminc közül? Ez utóbbi funkció a jel csúcsértékének meghatározásához, végül is a csúcsérték memória működtetéséhez szükséges. A lekérdezést 2 db 74150 típusú multiplexer (IC38, IC39) végzi, a multiplexerek címzését a 74193 bináris fel-le számláló (IC16) látja el. A számláló órajelét a 7414 inverterekből felépített négyszögjel generátor (IC15A, IC15B) biztosítja, 17 kHz frekvencián **(4. ábra)**. A 7414 IC másik két invertere (IC15E, IC15D) a bekapcsolási reset impulzust állítja elő az IC19B „D" flip-flop részére.

A bináris számláló lefelé számlálásra van állítva, vagyis 31-től visszafelé számol. A számláló négybites, a harminc LED-et viszont öt bittel kell címezni, erre szolgál a számláló borrow kimenete, mint az ötödik címbitet előállító jel. A borrow kimeneten akkor jelenik meg egy impulzus, ha a számláló lefelé számolva átlépte a „0" értéket. A borrow jelet tárolni kell 15 lépésen keresztül, ezt az IC19 2-es számú latch áramköre végzi, mint „T" tároló. A cím ötödik bitje további felhasználásra az IC19 Q2 (9) kimeneten jelenik meg. A harminc LED állapotát lekérdező két 74150 multiplexer strobe bemenetei közül az egyik az ötödik címbitet inverteren keresztül kapja meg, így valósítva meg az 1-15-ig, illetve a 16-tól 30-ig történő bemenetek címzését. A 3. ábrán a 74150 IC címzésére a Q0, Q1, Q2, Q3 és a Q4 (borrow) bitek szolgálnak.

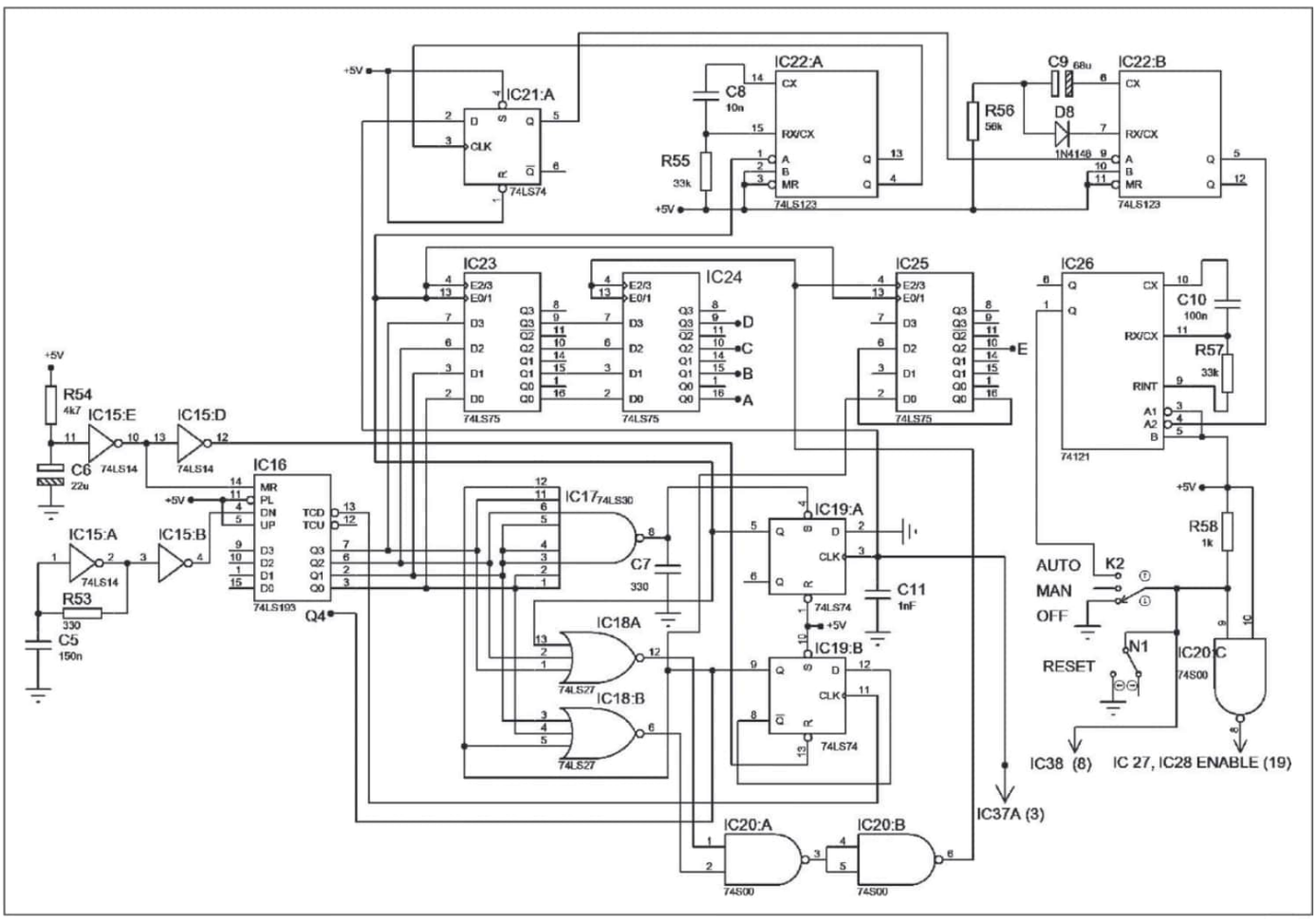
Ha 30-tól visszafelé lépkedés során „H" szint jelenik meg a 74150 kimenetén, az azt jelenti, hogy ebben a pozícióban egy LED világít, ezt a címet el kell tárolni a későbbi csúcsérték kijelzéshez. A tárolást két, négybites memória IC végzi el. Az IC23 az alsó négy bitet, IC25 a legmagasabb helyértékű, ötödik bitet tárolja. Az öt tároló Q kimenetén jelenik meg az a cím, ahol először világító LED-et talált a lekérdező 74150.

A 4. ábrán az öt, „D" flip-flop által (IC24, IC25) tárolt címbit A, B, C, D, E betűkkel jelölt. Az „A" a legkisebb, az „E" a legnagyobb helyértékű címbit.

A LED-ek a 30 db AND kapu (7408) kimenetére csatlakoznak, ha a kapu kimenete „L", az aktuális LED világít. Az „ÉS" kapuk kimenetére csatlakoznak a 74150 bemenetei is, tehát ha valamelyik LED világít, a multiplexer kimenetén „H" szint jelenik meg, miután az IC kimenete invertál. Ez a jelszint kerül az IC19A (3) és az IC21A „D" flip-flopokra további feldolgozásra.

Tehát a 7408 kétbemenetű ÉS kapuk egyik bemenetére csatlakoznak a feszültségszint érzékelő komparátorok kimenetei, a másik bemenetre a 74154 demultiplexer kimenetei. Ha a két bemenet közül bármelyik „L" szinten van, a kapu kimenete is „L" szintű lesz, a kapu kimenetéhez csatlakozó LED világítani fog.

A +1 dB és +5 dB közti szakasz természetesen piros LED-ekből áll, a -40 és 0 dB között pedig zöld LED-ek vannak. A kétféle LED-nek más az áram-



4. ábra

igénye a körülbelül azonos fényerőhöz, az ábrán R*-gal jelölt ellenállások 180 ohm értékűek, míg a 25 darab „R” jelű ellenállás 220 ohmos.

Csúcsértékmemória, automata és manuális csúcsértéktörlés

Az áramkör kapcsolási rajza a **4. ábrán** látható. Ha a 74150 multiplexer 30-tól visszafelé lépve talál egy világító LED-et, a kimenetén egy L-H szintváltás következik be. Ez az IC19 clock1 (3) bemenetére kerül, a Q1 kimenet (5) emiatt egy H-L szintváltást végez. Az „L” szint IC23 (4, 13) és IC25 (13) clk bemenetére kerül, minek következtében a „D” bemeneteken levő LED címbiteket beírja a tárolókba. Ezzel az első LED, amely világít, vagyis a „LED bar” legnagyobb dB értékét mutató LED címe tárolásra került.

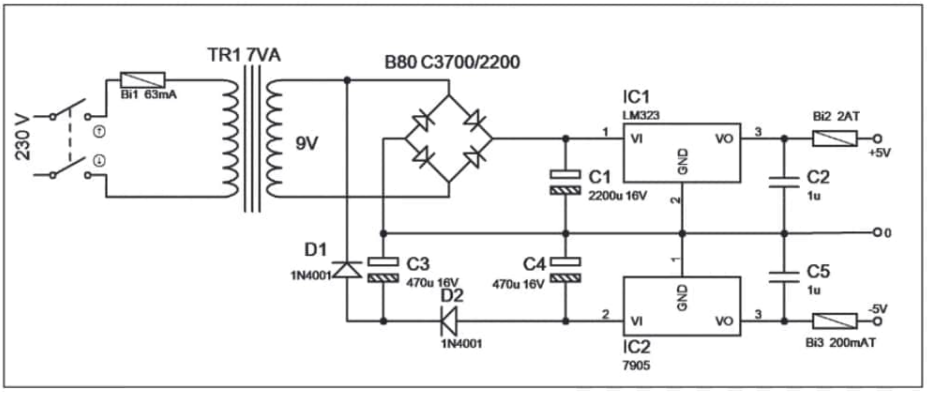
Ez az állapot marad, amíg a számláló el nem éri a nullát. Amikor mind az öt címbit nulla, és a 74150 multiplexer talált világító LED-et, IC18 (3 NOR kapu) és IC20 két NAND kapujával egy pozitív impulzust generál, amely az IC23-ban és IC25-ben tárolt címet átírja IC24 és IC25 „D” latch-be. E tároló kimenetein megjelenő címen levő LED világítva marad a továbbiakban a 74154 demultiplexer „L” kimenete miatt, ha időközben ennél a szintnél csak kisebb szintek fordulnak elő. A csúcsamplitúdót jelző LED-et tehát a 74154 demultiplexer egyik kimenete tartja működésben mindaddig, amíg a 74154 19-es pontja „L” szinten van.

Kézzel való csúcsértékkijelzés-törlés esetében, vagyis „MAN” üzemmódban ez a LED mindaddig világítani fog, míg a „RESET” nyomógombbal nem töröljük.

A csúcsértéket jelző világító LED automatikus kioltása („AUTO” üzemmód):

Ha a LED-eket lekérdező 74150 egy világító LED-et talál, meg kell vizsgálni, hogy ez valóban egy csúcsértéket jelez-e, vagyis a következő világító LED és a csúcsértéket jelző között van-e legalább egy nem világító LED? Ezt úgy dönthetjük el, ha használunk egy 1,5T időtartamú monostabil multivibrátort, és megvizsgáljuk, hogy a lefutó élnél milyen szinten van a világító LED-et jelentő jel, amely a 74150 kimeneti jele az IC17A 3-as pontja. A „T” időtartam egy LED ideje, amíg a számláló ennek a diódának a címét adja a címbuszra. Ez az idő pedig az órajel periódusideje. 17 kHz esetén 58,8 us, tehát a vizsgáló monostabil multivibrátor jelének szükséges időtartama az 58,8 us másfélszerese, azaz 88,2 us. Az IC19 flip-floptól érkező H-L átmenet (IC19 5. pont) indítja a 88,2 us időtartamú monostabil multivibrátort, ennek az invertált kimenete az IC21A „clk” bemenetére kerül. Ha 1,5T múlva az IC37A pontján, vagyis tulajdonképpen a multiplexerek kimenetén „L” szint van, ami azt jelenti, hogy abban a pozícióban nem világít LED. Ezzel megállapíthatjuk, hogy a multiplexer által ez előtt az időpont előtt 1,5T idővel talált világító LED egy kijelzett csúcsérték, amit „AUTO” üzemmódban 0,5 s időtartamig világítva kell tartani. Az IC21A Q kimenetén (5) megjelenő L-H szintváltozás elindítja a 0,5 s időtartamú monostabil multivibrátort (IC22B). IC22B Q kimenetén a 0,5 másodperces impulzus végén levő H-L átmenet indít egy újabb, körülbelül 2 ms időtartamú monostabil multivibrátort (IC26). Ennek a monostabilnak az invertált kimenete IC20C NAND kapura kerül, az IC kimenetén 2 ms időtartamig „L” szint lesz, IC20C kimeneti (8) pontján ugyanilyen időtartamú „H” szint jelenik meg. Ez a szint törli 74154 demultiplexer eddigi kijelzését, minek következtében a csúcsot jelző LED kialszik.

Ha a következő időben növekszik a jelszint, az 1,5T monostabil felfutó élénél „H” szint lesz, az áramkör nem indítja el a 0,5 másodperces, a LED-et világítva tartó monostabil multivibrátort.



5. ábra

Az áramkörök alaphelyzetbe állítása

Amikor véget ért egy lekérdezési ciklus, IC19 integrált áramkört alapállapotba kell hozni, hogy a következő lekérdezéskor innen indulhasson.

A nyolc bemenetű NAND kapu (IC17) bemeneteire kerül az öt címbit, ha ez mind „H” szintű, ami 31-nél fordul elő, egy resetimpulzust generál IC19 „D” latch tárolónak, azért, hogy a következő „körben” alapállapotból indulhasson az IC19 áramkör.

A kivezérlésmérő tápegysége

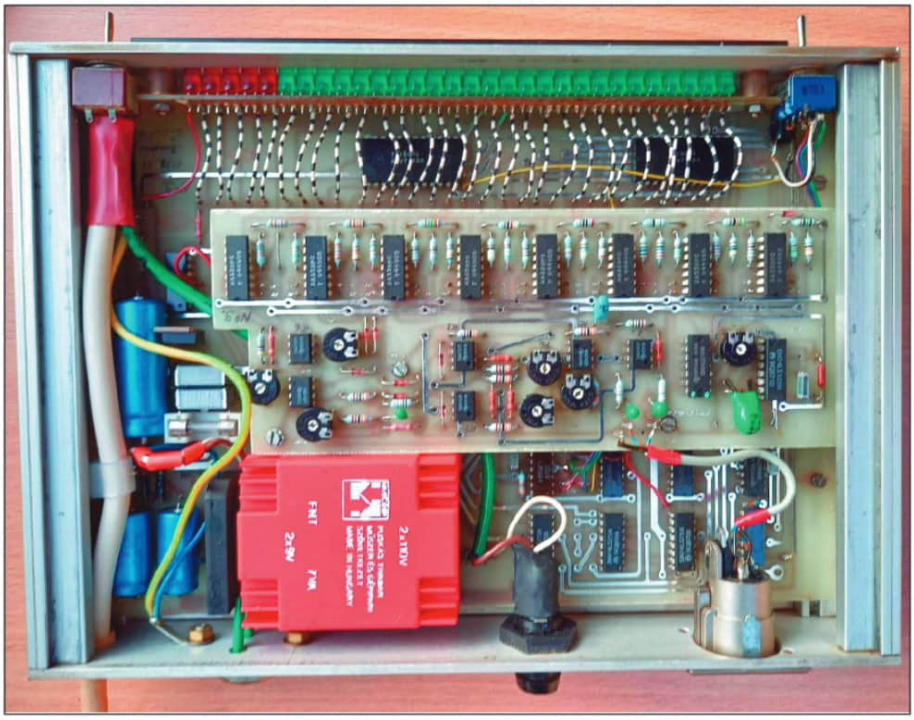
A tápegység által leadandó teljesítményt a felhasznált integrált áramkörök áramfelvételének és a harminc LED által felvett áramérték összegéből számíthatjuk. A kettő összege 0,85 A DC, ez valamivel több, mint 4 W teljesítményfelvételt jelent 5 V feszültségről. Biztonságból válasszunk 7 VA teljesítményű, 9 V feszültségű „Puskás” transzformátort. A Graetz után a pufferkondenzátoron elméletileg 12,6 V alakul ki, a valóságban a 10-11 V várható. Ez több, mint 7 VA, de egészen biztosan nem fog hosszú távon minden LED világítani, ezért megfelelő lesz a transzformátor teljesítménye. Az analóg rész, a teljeshullámú egyenirányító integrált áramkörei -5 V tápfeszültséget is igényelnek, ezt a D1, D2 diódák és a C3, C4 kondenzátorok állítják elő a 9 V váltófeszültségből. A tápegység kapcsolása az **5. ábrán** látható.

A **6. ábrán** a műszer belső felépítése, a **7. ábrán** a külső megjelenése látható. A kivezérlésmérő méretei: 253×180×40 (szé.×mé.×ma.).

A műszer az elmúlt harminc évben sok hangstúdióban üzemelt, illetve üzemel még ma is, hibátlanul. Sorsát azonban ő sem kerülhette el, a technika haladásával együtt járt egy fiatalabb, korszerűbb kistestvér tervezése, elkészítése.

MIKROKONTROLLERES KIVEZÉRLÉSMÉRŐ

A friss jövevény a mai technológiának köszönhetően már mikrokontrolleres vezérléssel készült. Ez több előnyt hordoz magában – az elődhöz képest – a



6. ábra

rugalmasan testre szabható szolgáltatásaival. Az alkalmazott lényegesen kevesebb számú integrált áramkör kisebb áramfelvételt is jelent, ami energiamegtakarítást eredményez. Az áramfelvétel jelentős csökkenése az akkumulátoros, illetve telepes táplálást is lehetővé teszi, ami a szabadtéri, helyszíni felvételeknél ma már alapkövetelmény.

A digitális hangberendezések mérete csökkent, ehhez kellett alkalmazkodni az új műszernek is. Ezt azonban úgy kell megvalósítani, hogy a méret csökkenése ne menjen a használhatóság rovására. Több szakemberrel konzultálva alakult ki a mechanikai felépítés, amely a skála méretét az elődmű szer skálájának 60%-ára csökkentette, a műszer magassága is körülbelül fele a megelőző típusnak. Ennek megfelelően a LED-ek mérete is csökkent. Az 5 mm-es LED-ek helyett 3 mm-esek lettek alkalmazva, ezáltal a skála hossza 160 mm-ről 100 mm-re változott. A műszer méretei: 150×105×25 mm (szé.×mé.×ma.).

A mikrokontroller vezérlésű kivezérlésjelző áramköre is három, különböző feladatot elvégző részre tagolható, úgymint: teljeshullámú egyenirányító, mikrokontrolleres vezérlő áramkör és a működtetéshez szükséges energiát biztosító tápegység.

Teljeshullámú mérőegyenirányító

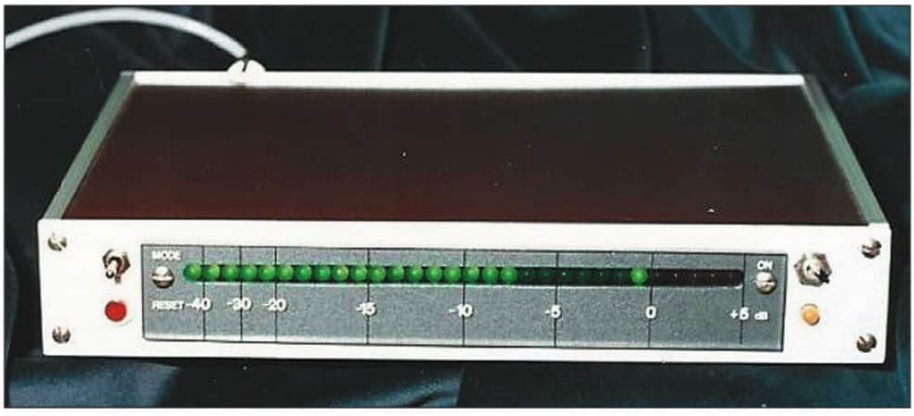
Először is határozzuk meg az áramkör főbb jellemzőit:

Kijelzési karakterisztika. Ismerjük a kétféle karakterisztikát, a VU, illetve a PPM szabványnak megfelelő fel- és lefutási időállandókkal. A 2021. évi RT ÉK kivezérlésmérőkről szóló cikkében bővebb információt találhatunk a kivezérlésjelző műszerek fajtáiról, illetve ezek különböző verzióiról. A cikkben található megfontolások alapján válasszunk PPM műszert, de ne zárjuk ki a lehetőségét egy PPM-VU átkapcsolási lehetőségnek sem. A kétféle karakterisztika megvalósítása hardver elemekkel vagy szoftveres megoldással lehetséges. Miután biztos, hogy műszerünket az esetek nagy többségében a hanganyag digitális formában történő rögzítése előtt az analóg jel ellenőrzésére használjuk, szükséges egy kapcsoló, amely a műszer bemenő érzékenységét tízszeresre, azaz 20 decibellel megnöveli. Ez a skála-eltolás a PPM véges felfutási ideje miatt előforduló lehetséges túlvezérlést igyekszik minimálisra csökkenteni.

A műszer időállandóinak megvalósítása. Az időállandók beállítására két módszer lehetséges: a mérőegyenirányító áramkörében hardverrel, vagy a digitális feldolgozás során szoftveres megoldással. Készüljön a műszer a hardveres időállandó beállítással, később egy újabb szoftverrel megvalósítható az integrációs és lefutási idő meghatározása. Ekkor csak meg kell szüntetni az időállandók áramkörét, mely két ellenállás és egy kondenzátor kiforrasztását és néhány átkötés elkészítését jelenti.

Érzékenység. A mai professzionális hangberendezések nulla szintje Európában 0 dBm vagy +6 dBm, ami 0,775 vagy 1,55 V_{eff} feszültséget jelent. Az angolszász országokban a nulla szint többnyire +4 dBm, azaz 1,23 V_{eff}. Követelmény tehát, hogy a műszer nulla szintje állítható legyen! További követelmény a korábban leírtak szerint, 20 dB-lel növelhető bemenő érzékenység.

Tolerancia. Egy mérőegyenirányító legyen lineáris viselkedésű a frekvencia- és a szinttartományban is. Esetünkben elegendő pontosságot ad a ±0,5 dB tolerancia, hiszen ennél jobbat az 1 LED/dB felosztás miatt sem lehet elérni, és ennek elérése még nem igényel speciális kialakítású áramköröket. Ez például azt jelenti, hogy a bemenő szint 10 dB csökkenésekor a mérőáramkör kimeneti egyenfeszültség jele 9,5-10,5 dB-lel lehet kisebb az eredeti értéknél. A frekvenciaátvitel pedig úgy értelmezhető, hogy az aktív tartományban (+4-20 dB) 20 Hz és 20 kHz között a kimeneti DC értéke maximum 0,5 dB-lel különbözhet az 1 kHz-en mért DC értéktől.



7. ábra

A mérőegyenirányító linearitása a szint és frekvencia függvényében
Referencia szint +4 dB

Szint	f[kHz]	0,02	0,2	2	10	20
	Uki DC [V]	2,6	2,74	2,74	2,7	2,68
0 dB						
	Uki DC [dB]	-0,45	0	0	-0,12	-0,19
	Uki DC [V]	0,85	0,89	0,885	0,87	0,85
-10 dB						
	Uki DC [dB]	-9,71	-9,76	-9,8	-9,83	-9,77
	Uki DC [V]	0,25	0,265	0,272	0,27	0,268
-20 dB						
	Uki DC [dB]	-20,34	-20,29	-20,06	-19,93	-20,19

8. ábra

Az elkészült mérőegyenirányító amplitúdómenetét és linearitását láthatjuk a frekvencia és a szint függvényében a **8. ábrán**.

Saját zaj és ofszet. A bemenőjel nélküli kimeneti egyenfeszültség értéke a 0 dB értéknél legyen legalább 40 dB-lel kisebb, hogy a -40 dB-es LED ne világítson. Ez a hibafeszültség természetesen befolyásolja a kis szintek pontos kijelzését, de mivel -20 dB alatt a LED kijelző 5 dB felbontású, ez zavaró hibát nem okoz. A -40 dB LED digitális számértéke „2", a szoftver biztosítja, hogy ennél kisebb jel esetén a kijelző nullát mutasson.

Bemenő impedancia. A műszer beiktatásakor csak minimális feszültségcsökkenés lehet, tehát a műszer bemenő impedanciája legyen sokkal nagyobb, mint a mért hangfrekvenciás berendezés kimenő impedanciája. Kérdés, hogy bemeneti impedancia helyett beszélhetünk-e bemenő ellenállásról, pontosabban az egyenirányító fokozat első aktív eleme, a FET C_{GS} kapacitása mennyire okoz frekvenciafüggő bemenő impedanciát a 20 Hz … 20 kHz-es sávban? Ha a FET gate-ről a föld felé kapcsolt ellenállás „R" (R40+R41) és a FET bemenő kapacitása $C_{GS,}$ akkor a bemenő impedancia:

$$Z = R_{39} + \frac{R}{1 + \omega \cdot R \cdot C_{GS}} \qquad (1)$$

Ez az impedancia közel tisztán ohmos, ha

$$\omega << \frac{1}{R \cdot C_{GS}} \qquad (2)$$

Esetünkben (ld. 9. ábra) beszélhetünk bemenő ellenállásról, hiszen az alkalmazott FET bemenő kapacitása 4,5 pF, ami a R = 50 kohm bemeneti ellenállással 700 kHz feletti töréspontí frekvenciát ad. Az R39 ellenállás 1 kohm, bemenő impedancia szempontból gyakorlati jelentősége nincs! Emiatt a hangfrekvenciás sávban gyakorlatilag nincs fázistolás (kisebb, mint 3 fok), az impedancia tisztán ohmos jellegűnek tekinthető. A mai stúdióminőségű hangberendezések kimenő ellenállása kisebb, mint 500 ohm (általában 50-500 ohm között), ha ezen érték százszorosa a csatlakozó műszer bemenő ellenállása, akkor az előálló feszültségesés 0,086 dB, ami egy elfogadható érték. Az előbb tárgyaltak alapján a bemenő ellenállás legyen egyenlő vagy nagyobb, mint 50 kohm.

Szolgáltatások. A csúcsérték tartó memóriának legyen három üzemmódja: - automata törlés, - kézi törlés, - memória kikapcsolva (Auto, Man, Off, háromállású billenőkapcsoló és RESET nyomógomb.)

Kétféle végkitérés: 0 dBm, -20 dBm (kétállású billenő kapcsolóval választható). Ezután következhet az erősítő felépítésének átgondolása.

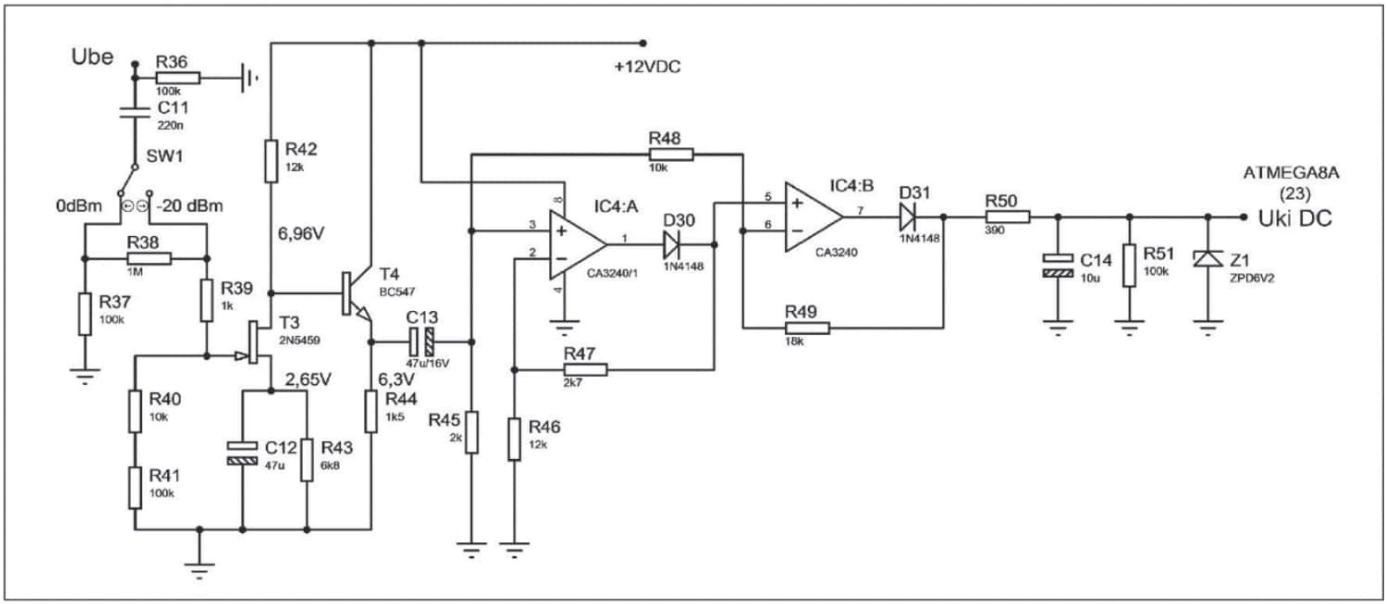
Az első lépés a tápfeszültségek meghatározása. A mikrokontroller 5 V stabilizált tápfeszültséget igényel, az A/D konverter referenciafeszültsége stabilizált és állítható kell, hogy legyen. Az A/D konverter maximális bemenő egyenfeszültsége üzemszerűen (nem az abszolút maximum) 5 V lehet, ha ezt csúcs egyenirányítással hoznánk létre, akkor az egyenirányítandó váltófeszültség amplitúdója csúcstól-csúcsig 10 V kell, hogy legyen. Ha 12 V stabilizált tápfeszültséggel tápláljuk a műszert, ez elegendő nagyságú a mikrokontroller és a referencia feszültség stabilizátorának bemenő feszültségeként, és megfelelő az akkumulátoros tápellátáshoz is.

A bemeneti tranzisztoros fokozatot viszont nem lehet a tápfeszültség közelébe sem vezérelni, ezért biztos, hogy nem tudjuk elérni az 5 V vezérlő egyenfeszültséget az A/D konverter felé. Ezért a referenciafeszültséget kell majd a maximálisan kinyerhető DC értékéhez igazítani. A LED-ek meghajtása a tervek szerint közvetlenül a mikrokontrollerről történik, ezért célszerű lesz kis áramfelvételű LED-ek alkalmazása. Ez további előnyt jelent, mert a kis áramfelvétel csökkenti a mikrokontroller tápfeszültség stabilizátorának disszipációját is.

De térjünk vissza az analóg bemenő erősítő tápfeszültségéhez! Ha ezt a funkciót integrált áramkörrel szeretnénk megoldani, elő kellene állítani egy negatív tápfeszültséget is az IC-k számára. Az is gondot okozhat, hogy az erősítő és egyenirányító áramkör nulla potenciáljának azonosnak kell lenni a mikrokontroller tápfeszültségének nulla voltjával, mivel az ATMEGA8A nem rendelkezik differenciális, földfüggetlen A/D konverter bemenetekkel. Vagyis az erősítő IC-k negatív tápját nem lehet egyszerű „tápfeszültség felezéssel" megvalósítani. Ha az erősítőfokozat tranzisztorokkal épül fel, a fent jelzett tápfeszültség-probléma megoldódik, ezért ezt a megoldást választjuk.

Kérdés, hogy milyen felépítésű legyen a teljes hullámú egyenirányító? Ezt az áramkört tranzisztorokkal jól megoldani csak viszonylag sok alkatrésszel lehet. Elképzelhető, hogy a nyák-on emiatt helyszűkében lehetünk. Az integrált áramkörös műveleti erősítők viszont negatív tápfeszültséget is igényelnek, így az erősítő-mikrokontroller közös nulla voltja okoz az előbbiekben már tárgyalt nehézséget.

Megoldást jelenthet viszont az aszimmetrikus tápfeszültségű integrált áramkör használata, amelynek „negatív tápfeszültsége" a nulla volttal egyenlő. Ennek az IC-nek viszont esetünkben el kell viselni bemenetén a „tápfeszültség alá vezérlést" is! Ezt az üzemmódot az aszimmetrikus tápfeszültségről üzemelő IC-k nem mindegyike képes tolerálni, de a legtöbbször jó eredményt érhetünk el az úgynevezett „PPIO" integrált műveleti erősítőkkel. A PPIO jelentése „peak to peak input and output".



9. ábra

A mérőegyenirányító felépítése

A **9. ábrán** látható a mérőegyenirányító kapcsolási rajza. Az előbbi megfontolásoknak megfelelően a váltófeszültségű erősítő két tranzisztorból áll. Az első egy n-csatornás, kiürítéses jFET (2N5459), hogy a műszer bemenő ellenállására vállalt érték R_{be} >50 kohm könnyedén teljesíthető legyen. A második egy npn tranzisztoros (BC547) emitterkövető, impedanciaillesztés céljából. Lássuk, mekkora lehet a maximális kimenő feszültsége a két tranzisztorból álló fokozatnak, 12 V tápfeszültség esetében!? A FET karakterisztikájából adódik, hogy kb. 0,4 mA draináramnál a meredekség 1,3 mA/V. 12 kohm drainellenállásnál a drainfeszültség 7 V, ezért az emitterkövető emitterén a feszültség 6,3 V, ami jó közelítéssel a fél tápfeszültség. Ilyen feltételek mellett a torzításmentes kimenő feszültség biztosan kisebb, mint 6 $V_{csúcs}$ lehet, ami 3-4 V maximális csúcsfeszültséget, illetve kb. 2-3 V_{eff} kimenőjelet enged meg. A FET-fokozat erősítése:

$$A = S \cdot (R_{42} \times R_{FE}) \sim 15{,}6 - szoros \qquad (3)$$

R_{FE} a földelt emitteres fokozat bemenő ellenállása 300 kohm, ami a 12 kohmnál jóval nagyobb, tehát a párhuzamos kapcsolódás miatt elhanyagolható. Az emitterkövető erősítése nagyon közel van az egyszeres értékhez, tehát az összes erősítés kb. 15-szörös. Ez az erősítésérték megfelelő a 20 dB-lel növelt érzékenységhez, a 0 dBm méréshatár eléréséhez pedig egy 1:10 osztó lesz szükséges.

A végkitéréshez tartozó minimális bemenő feszültség effektív értéke a 20 dB-lel növelt érzékenység esetén:

$$U_{BEMIN} = \frac{0{,}775V + 4dB}{10} = \frac{0{,}775 \cdot 1{,}584}{10} = 122mV \qquad (4)$$

Az egyenirányítóra kerülő, a végkitéréshez tartozó váltófeszültség:

$$U_{EGY} = A \cdot U_{BEMIN} = 15 \cdot 0{,}122 = 1{,}83V_{EFF} = 2{,}58V_{CSÚCS} \qquad (5)$$

Ekkora egyenfeszültséget kell beállítani az A/D konverter referenciafeszültségeként, hogy a műszer -16 dBm-nél (-20 dBm+4 dB) végkitérést jelezzen.

A műszer bemenetén egy 20 dB-es feszültségosztó található, ez csökkenti le a normál üzemi 0 dBm feszültségre, vagyis 0,775 V_{eff}-re a bemeneti érzékenységet. Az osztó kialakítása olyan, hogy a műszer bemenő ellenállása mindkét állásban kb. 50 kohm. Az átkapcsolás a két bemenő érzékenységérték között egyáramkörös, kétállású kapcsolóval megoldható.

A teljeshullámú egyenirányítást a CA3240 dupla műveleti erősítő IC végzi. Használata két szempontból indokolt: a szerző már alkalmazta hasonló feladatra és jól teljesített, a másik egyszerű érv, hogy ez állt (a fiókban) rendelkezésre.

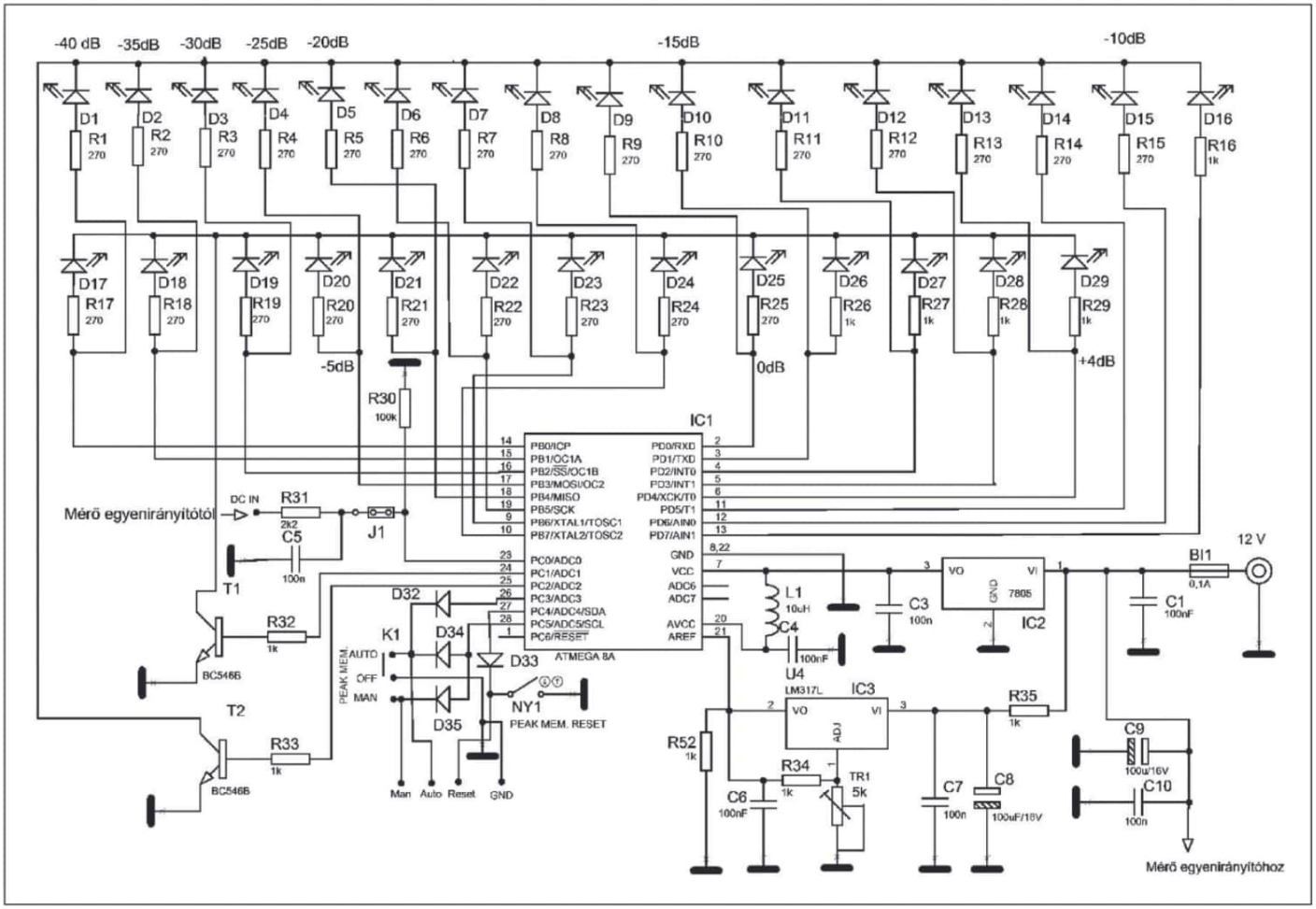
A két műveleti erősítő egyike a T4 emitterkövetőről érkező jel pozitív félperiódusát erősíti, a negatív félperiódus nem tudja (a földpotenciál alá) vezérelni az IC-t. Az IC4B fázisfordító bemenetére csatlakozik a tranzisztoros fokozat által erősített váltófeszültség, amelynek negatív félperiódusa pozitív tartományba vezérli az IC-t, létrehozva ezzel a teljes hullámú egyenirányító funkciót.

A megfelelő időállandókat az R50, R51 ellenállások és a C14 kondenzátor állítják be. Az R50-C14 a felfutási időt, a C14-R51 a visszafutási időt befolyásolja. A kimeneten egy 5,1 V Z-dióda védi az A/D konverter bemenetét az esetlegesen kialakuló nagyobb feszültségektől.

A tápegység

Korábban már választottunk táplálást, a műszert 12 V feszültségű, stabilizált táp (hálózati adapter) látja el energiával. A később ismertetésre kerülő sztereó műszer mindkét egyenirányító csatornája 9 V stabilizált egyenfeszültségről üzemel. A csökkentett tápfeszültség miatt csökken a kimeneti DC értéke is, de ez a csökkenés kompenzálható az A/D konverter referenciafeszültségének utólagos beállításával.

A táplálás elektronikája egy önregenerálódó 100 mA-es biztosítékon keresztül kapja a 12 V feszültséget **(10. ábra)**. A mikrokontroller és az



10. ábra

általa vezérelt LED-ek számára egy 7805 stabilizátor (IC2) biztosítja a tápellátást. Ugyancsak a 12 V feszültségből állítja elő az IC3 (LM317L) a szükséges referenciafeszültséget, amely állíthatóra van kiképezve. A mérőegyenirányító tápellátását monó műszer esetén a C9, C10 szűrőkondenzátorok szűrik, a sztereó változatnál mindkét panel tartalmaz egy 78L09 feszültségstabilizátort is.

A kivezérlésmérő nyugalmi áramfelvétele 12 V-ról 25,7 mA, ha mind a 29 LED világít, akkor 34,7 mA. A 7805 stabilizátor IC maximális disszipációja:

$$P_D = (12V - 5V) \cdot 34{,}7mA = 243mW \qquad (6)$$

amely nagyon kis érték. Ennek és a hűtőborda 13,5 K/W hőellenállásának köszönhetően a stabilizátor IC hőmérséklete kevesebb, mint 5 °C fokkal nagyobb, mint a környezeti hőmérséklet.

Az alkalmazott LED-ek: zöld 3000 mCd, 0,6 mA árammal működtetve, piros_ 600 mCd, 3 mA árammal működtetve. Ha mindegyik LED világít, ez 27 mA áramot jelentene, de a szoftver a LED-eket a teljes ciklusidő egy részében kapcsolja csak be, így adódik végül a 9 mA értékű LED-áram.

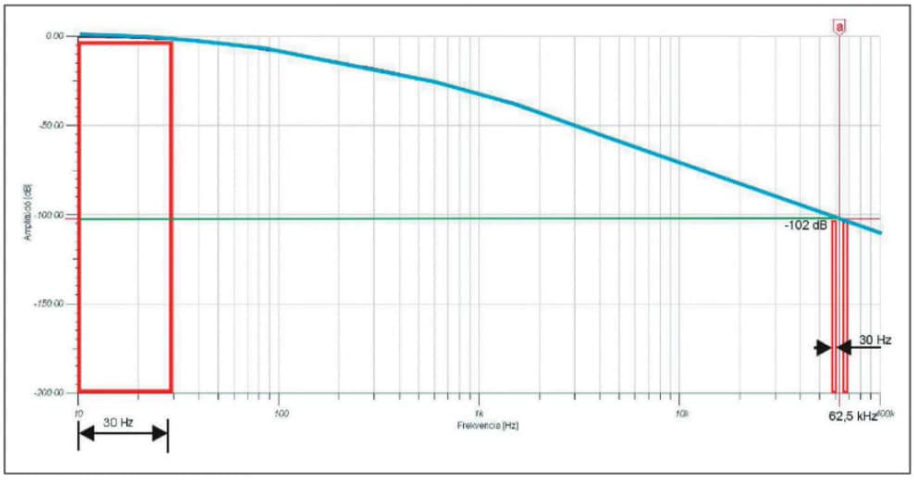
Magyarázatra szorul a 29 LED, ez miért nem 30, mint az elődnél kivezérlésmérőben? A válasz egyszerű: mechanikai probléma merült fel a deszkamodell előlapjának elkészülte után. A nyák 30 db LED-hez készült, de az előlap mérete 29 LED-hez volt megfelelő. Egy új előlap készítése helyett, kis kompromisszummal a LED-ek száma 29-re csökkent. Ha 30 LED-et szeretnénk használni, akkor a harmincadik LED + ellenállás beültetése után csak egy átkötést kell készíteni az R14 ellenállás és az 30. LED előtét-ellenállása között.

Még egy megjegyzés: az elkészült, működő kivezérlésmérő csak deszkamodell formájában épült meg, a közölt nyomtatási tervhez képest néhány helyen eltér. Ha valaki a cikk nyomán a műszer megépítésére szánja el magát, kérem, alaposan egyeztesse a kapcsolási rajzot a nyák-tervvel!

A 10. ábrán láthatjuk a kivezérlésmérő digitális áramkörét és a tápegységet.

A kivezérlés értékének kijelzése

A mikrokontroller kiválasztásánál a portok száma volt a meghatározó jellemző. Az elméletileg 30 LED-et (gyakorlatilag 29) mindenképpen időmultiplex módon kell kezelni. A legkézenfekvőbb megoldás a nyolcas csoportosítás, így, mint később láthatjuk, lényegesen egyszerűsödik a kijelzés folyamata. A kijelzés felosztása 16-os LED csoportokra történt, pontosabban egy 16-os és egy 13-as csoportra. Portokat használunk még fel a kijelzés módjának vezérléséhez, hogy a csúcsérték kijelzésekor a csúcsot jelző LED automatikusan aludjon-e ki, vagy ezt kézzel, a RESET gombbal tegyük-e meg? Ehhez a funkcióhoz három port kell, de még szükséges egy port bemenetként az analóg-digitális konverterhez is. További két portot használunk fel az alsó 16 - felső 13 LED átkapcsolásra. Ez összesen 16 + 6 = 22 portot igényel. Az ATMEL (Mikrochip) gyártású ATMEGA8A kontroller 23 porttal



11. ábra

rendelkezik, ez céljainknak tökéletesen megfelel.

Az ATMEGA8A 10 bites A/D konverterrel rendelkezik, de van egy beállítás, amikor 8 bites, balra rendezett az eredmény. Ez a kivezérlésmérő céljára elég pontosságot ad, ugyanis a specifikáció szerint az 1 dB/LED alapján ±0,5 dB pontosságot várunk, ezt a nyolcbites felbontás az aktív kivezérlési tartományban (-20 … +4 dB) teljesíti.

A 29 db LED-et nyolcas csoportokra osztjuk, így egyszerű mindegyik csoporthoz egy nyolcbites regisztert rendelni. Kiszámoljuk a LED-ek bináris értékét a decibel skála alapján, a +4 dB LED lesz a 255 értékű. A kiszámolt értékeket az inicializálás során az SRAM-ba töltjük, ezt a tárterületet „LEDDIG"-nek nevezzük el.

Meghatározzuk a kijelző nyolcas csoportjaiban a különböző „hosszúságú" LED bar-hoz tartozó bináris számokat. Például az 5-ös nagyságú bar-hoz tartozó szám a 31, vagy pl. a hármas hosszúságú LED bar-hoz tartozó bináris szám a 7-es. Ezeket szintén az inicializáláskor az SRAM-ba töltjük, a memóriaterület elnevezése „LEDISP".

Az A/D konverter „single" üzemmódban működik, vagyis ha kész a konverzió, akkor a konverzió megáll, kezdődik a konverzió során kapott számérték feldolgozása és kijelzése a LED skálán.

Az inicializálás során be kell állítanunk az A/D konverter mintavételi frekvenciájának értékét is. Az egyenirányított hangjel DC értékének maximális változási sebességét a beállított felfutási idő korlátozza.

A sávhatárolt négyszögjel Fourier-spektrumának vizsgálata során kaphatjuk meg az összefüggést a felfutási idő (t_{FEL}) és a négyszögjel elfoglalt sávszélessége (f_B) között:

$$T_{FEL} = \frac{0,3}{f_B} \qquad (7)$$

A felfutási idő értékét a szabvány által előírt 10 ms értékre választva 30 Hz sávszélesség adódik. Ha ábrázoljuk a mintavett jel spektrumát a frekvenciatartományban, akkor a mintavételi frekvencia (f_S) bal és jobb oldalán egy-egy 30 Hz-es „szélességű" spektrum jelenik meg, és ez ismétlődik csökkenő amplitúdóval a mintavételi frekvencia többszörös értékeinél is. A frekvenciaspektrum természetesen tartalmazza annak a jelnek a spektrumát is, amelyből a mintavétel történt **(11. ábra)**.

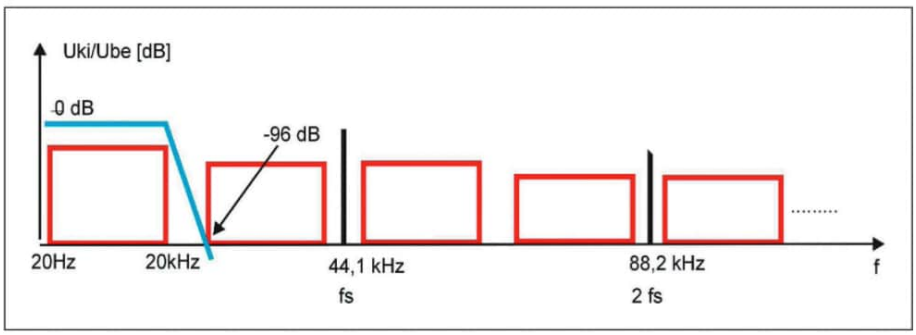
A kérdés az, hogy az alapsávi jel amplitúdójának mekkora értékkel kell csökkennie, hogy ne álljon elő a sávátlapolódás jelensége, vagyis mennyit csillapítson az „anti-aliasing filter" a mintavételi frekvencia f_B környezetében? Ezt egyszerűen egy, már megvalósított példa alapján dönthetjük el. Vegyük a CD esetét, mint példát! Tudjuk, hogy a CD által rögzített maximális frekvencia 20 kHz, a mintavételi frekvencia 44,1 kHz. Ahhoz, hogy a sávátlapolódást elkerüljék a CD esetében, és a mintavétel a Shannon-törvény szerint történik (vagyis nincs túlmintavételezés), a mintavételi frekvenciának nagyobbnak kell lenni a hangfrekvenciás sáv legnagyobb előforduló frekvenciájának kétszeresénél **(12. ábra)**. Miután az (anti-aliasing) aluláteresztő szűrő nem ideális, az alapsávi jelnek legalább 96 dB-lel kell csökkennie a mintavételi frekvencia alatt elhelyezkedő hangspektrum legkisebb frekvenciájánál, ekkor már nem észlelhető a sáv-átlapolódás hatása (12. ábra).

A 11. ábrán látható karakterisztika két, elsőfokú alul áteresztő eredménye, a mérőegyenirányító kimeneti R50-C14 szűrője, valamint az A/D konverter bemenetén található R31-C6 RC-tag által előállított karakterisztika. Az R50-C14 tag értékeit a felfutási idő határozza meg, ezt tehát nem szabad változtatni. Az R31-C6 zavarszűrő törésponti frekvenciája 700 kHz felett van, tehát nem nagyon befolyásolja az eredő szűrőkarakterisztikát. Egy változtatható dolog van a kezünkben, a mintavételi frekvencia. Ha ezt a frekvenciát a 11. ábra szerinti értékre, 62,5 kHz-re választjuk, akkor a kis meredekségű (6 dB/oktáv) szűrővel is teljesíthető a sáv átlapolódásának elkerülése. Ezért lett választva a mintavételi frekvencia a 4 MHz-es órajel 64-ed részére, vagyis 62,5 kHz-re. A 11. ábrán látható, hogy ilyen értékű mintavételi frekvencia esetén a csillapítás több, mint 100 dB, ami nagyobb a 96-nál, tehát megfelel.

Az A/D konverter a kijelzés során nem működik, a kijelzés után kerül csak ismét aktív állapotba.

Ha a konverzió kész, az aktuális, most már digitális formában rendelkezésre álló hangjel amplitúdó a „DIGAM" elnevezésű regiszterbe töltődik.

A kijelzéshez meg kell állapítani, hogy a „DIGAM" regiszterben tárolt amplitúdó nagyságának függvényében hány LED-et kell bekapcsolni? Az ak-



12. ábra

tivált LED-ek száma a „LEDNR” regiszterben található a számolás után.

A „DISPL” szubrutin végzi el a világító LED-ek számának meghatározását. Behívja az SRAM-ból a legkisebb (-40 dB) amplitúdót, és összehasonlítja a DIGAM-ban tárolt értékkel. Ameddig az A/D konverter által előállított amplitúdó nagyobb, mint az aktuális SRAM-ból behívott számérték, újabb amplitúdóértéket tölt be a memóriából, és minden egyes ilyen ciklusban eggyel növeli a LEDNR regiszter értékét.

Ha a szubrutin végrehajtása során a memóriából behívott amplitúdó már nagyobb DIGAM értékénél, a program a „DISPLFINE” szubrutinra lép. Ez a rutin megvizsgálja, hogy a legutóbb behívott két amplitúdóérték közül melyikhez van közelebb az aktuális, DIGAM-ban tárolt amplitúdó értéke. Ha az előző amplitúdóértékhez, dekrementálja LEDNR regisztert, ha a pillanatnyihoz, nem végez semmilyen további műveletet LEDNR regiszterrel.

Most már rendelkezésre áll a kijelzésre kerülő LED-ek száma, azt kell eldönteni, ez a szám nagyobb, vagy kisebb az előző ciklusban kiszámolt LEDNR értékénél? Az előző ciklusban kiszámolt érték az R17 regiszterbe és az SRAM-ba töltődött. Ha a jelenlegi ciklusban megállapított LED szám nagyobb, mint R17 értéke, nem lesz csúcsérték kijelzés, a program tovább lép a kijelző rutinra, de eltárolja LEDNR értékét az R17 regiszterben és az SRAM-ban a 0096H címen. Ha kisebb az aktuális LED-ek száma, mint az eltárolt csúcsérték, lesz csúcsérték-kijelzés, a program a „PEAK” szubrutinra ugrik.

Korábban már szó volt róla, hogy a kijelzés 29 LED-en történik, időmultiplex módon, négy bájton. Erre a célra regiszterek lettek dedikálva külön a LED bar kijelzéséhez és külön a csúcsok kijelzéséhez.

A kijelzésre alkalmazott regiszterek: DISPLA (R21), DISPLB (R22), DISPLC (R23) és DISPLD (R26). A kijelzés a kijelző nagyobb értékeivel kezdődik, DISPLD (R26) és DISPLC (R23) -nek elnevezett regiszterekkel. A DISPLD értékét a „D” I/O port veszi át kijelzésre, DISPLC-t pedig „B” I/O port. A „C” port 1. és 2. bitje vezérli, hogy a két port a felső 13 bitet vagy az alsó 16 bitet jelzi-e ki, ennek megfelelően ad földpotenciált a 17-29 vagy az 1-16 LED-ek katódjára. Minden regiszterpár kijelzése után elindul egy 1,5 ms időtartamú számláló (DELTAT1), amely a LED-ek világításának időtartamát (a LED-ek fényerejét) állítja be. Ha a két felső display (C, D) kijelzése befejeződött, a C port két bitje (1, 2) ellenkező értékűre vált, és elkezdődik DISPLB és DISPLA kijelzése a „D” és „B” I/O port tartalmának megjelenítésével.

A csúcsértékek kijelzéséhez rendelt regiszterek PEAKA (R9), PEAKB (R10), PEAKC (R11) és PEAKD (R20).

Az R17 csúcsértéktároló regiszterben tárolt szám alapján meghatározzuk, hogy ez melyik kijelző (A, B, C, D) hányadik LED-je? Ezt a illető LEDNR 8, 16, 24-gyel való összehasonlításával végezzük. Ha meghatározta a program a kijelző (A, B, C, D) szegmenst, és már ismerjük a kijelző bájtjában a PEAK LED helyzetét, egy regiszterbe 1-est töltünk, és ezt annyiszor shifteljük balra a kiszámolt helyérték alapján, hogy a LED az adott kijelzőszegmensen a csúcskijelző LED pozíciójába kerüljön. Ezeket, a csúcsokat kijelző szegmenseket szintén négy regiszterben tároljuk: PEAKA, PEAKB, PEAKC, PEAKD.

Ha van csúcskijelzés, ez biztosan a LED-bar értékénél nagyobb LED számnál van. Ha az illető amplitúdó és csúcsérték ugyanazon a kijelző szegmensen van, az illető DISPL regisztert „vagy kapcsolatba” kell hozni a hozzá tartozó PEAK regiszterrel, az eredmény a LED-bart és a csúcsot is mutatni fogja. Ezt a műveletet a kijelző rutin futás során végezzük, közvetlenül a kijelzés előtt. Ha az amplitúdó kicsi, például DISPLB-n megjelenített, nem tudni, hogy a DISPLB-n található, vagy egy korábbi, nagyobb helyértékű PEAK értéket kell kijelezni. Ezért a DISPLC és DISPLD kijelzőkre is kiírjuk PEAKC és PEAKD értékeket.

Visszatérve a LED-ek számának feldolgozásához, ha az aktuális LEDNR érték nagyobb a korábbi, R17 regiszterben tárolt csúcsértéknél, biztosan nem lesz csúcskijelzés. Ebben az esetben a program nem ágazik el a PEAK szubrutin felé, hanem a kijelző szubrutint hajtja végre, de előtte eltárolja a nagyobb LEDNR értéket az R17 regiszterbe. A LEDNR regiszter értékéből megállapítja, hogy az A, B, C, D kijelzők közül melyik szegmensen kell az aktuális amplitúdót ábrázolni. Ezt a LEDNR regiszter értékének és a 8, 16, 24 számok komparálásával éri el. Az ez alatti, kisebb helyértékű szegmenseken minden LED világít, tehát egyszerűen „FF”-et kell az illető kijelző regiszterébe tölteni, végül az I/O PORT-on kijelezni.

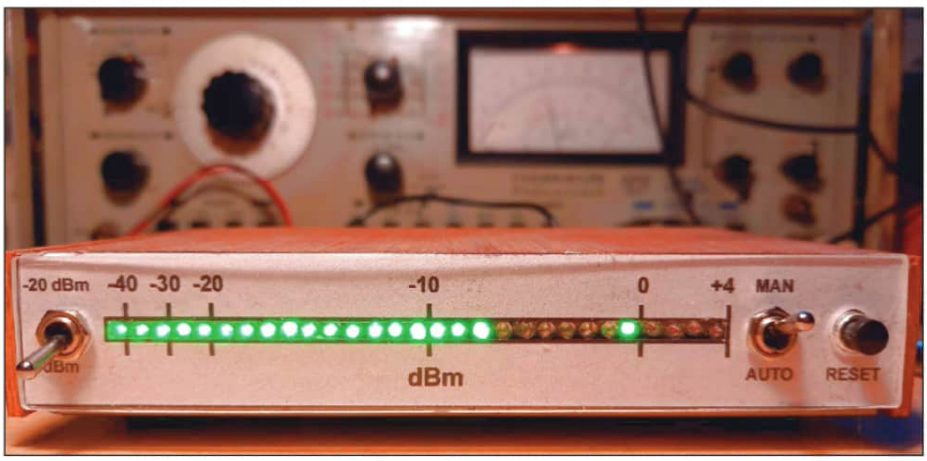
A csúcsértéket jelző LED kikapcsolására két lehetőség van: automatikusan egy másodperc múlva kialszik (AUTO), vagy az aktuális csúcs kijelzését manuálisan, a RESET gombbal végezhetjük (MAN).

„AUTO” esetben, ha a LEDNR és a csúcsérték tároló regiszter tartalmának összehasonlítása során kiderül, hogy a korábbi csúcsérték érvényes, vagyis azt kell kijelezni, elindít egy 16 bites TIMER-t, amely egy másodpercig hagyja kijelezni a csúcsértéket, utána interrupt következik és törli a csúcsmemóriát.

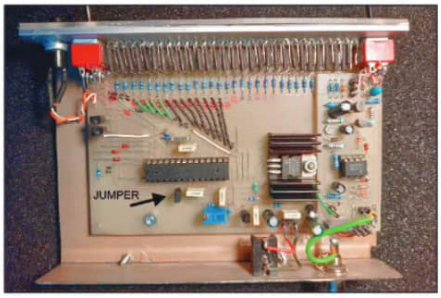
A csúcsmemória kikapcsolható, ha minden ciklusban töröljük a csúcsmemóriát, vagyis töröljük R17 regisztert. Ez az üzemmód a kijelzést vezérlő háromállású kapcsoló középső (OFF) állásában jön létre. A **13. ábrán** működés közben látható a kivezérlésmérő.

Az „élesztés”

A kivezérlésmérő „élesztéséhez” nyújt segítséget a J1 jumper, amely megszakítja az egyenfeszültség útját a teljes



13. ábra



14. ábra

hullámú egyenirányító kimenetéről a mikrokontroller A/D konvertere bemenet felé. Ezáltal a két egység külön-külön ellenőrizhető, ha mindkettő helyesen működik, a jumper segítségével az egységek összekapcsolhatóak. A műszer belső elrendezése a **14. ábrán** látható, a jumper megjelölve.

Egy ötlet azoknak, akik esetleg megépítik a műszert, és szeretnék a szoftvert továbbfejleszteni: A műszer kijelzőjének egy része felhasználható, mint valós idejű szoftvermonitor. A végleges szoftver „finomhangolást" a szerző is ezzel a módszerrel végezte.

A kijelző 29 LED-ből áll, a teljes kijelzőt négy részre lehet osztani, ahogy a működtető szoftver is teszi, 1-8, 9-16, 17-24 és 25-29 LED-ekre. Ezek a nyolcbites (az utolsó ötbites) szegmensek egy-egy (már korában ismertetett) regiszter tartalmát jelenítik meg a kijelzőn. Amennyiben az A/D konverzió és a kijelzés már helyesen működik, és ha például csak az 1-8 közötti amplitúdóval tápláljuk a konvertert, a további két regiszteren és a harmadik regiszterből öt biten tetszőleges regiszter tartalma jeleníthető meg, miközben a szoftver valós időben fut. Mindössze annyit kell tenni, hogy a szoftverben a kijelzésre kerülő DISPL B, C, D helyett azt a regisztert írjuk be, amelyiknek a tartalmára kíváncsiak vagyunk. Ha az amplitúdó maximum nyolc LED, akkor két és „fél" regiszter tartalmának változását figyelhetjük meg valós idejű működés közben.

A műszer nyomtatott áramkörének alkatrész, ill. forrasztási oldala látható a **15.** és **16. ábrán**. A **17. ábra** a panel beültetési rajzát mutatja. *(Utóbbi ábrák a honlapon találhatók!)*

Végül néhány ötlet,

mivel lehetne a műszert komfortosabbá tenni?!

Ha lemondunk (az egyébként használaton kívüli) RESET lehetőségről, akkor nyerünk egy PORT bemenetet a további funkciók lehetséges választására.

– Kétféle beosztású kijelző-karakterisztika tárolása az SRAM-ban, belső jumperrel választhatóak a karakterisztikák

– Ha több műszerrel mérjük egy többsávos hanganyag kivezérlését, a kivezérlésmérők üzemmódjait nem külön-külön műszerenként, hanem egy kezelőszervvel célszerű állítani. Erre a funkcióra készíti elő a D32-D35 diódahálózat az áramkört. Ha a panel alsó szélén található AUTO, MAN, GND, RESET pontokat egy csatlakozóra kivezetjük, és a kivezetett pontokat összekötjük egymással, egyetlen műszer kezelőszervei az összes, összekötött műszert vezérelni fogják.

– A LED-bar (bargraph display) helyett egy LED pont jelezné az amplitúdóváltozást, a két üzemmód közötti váltást szintén egy jumperrel lehetne megoldani.

A műszer „hagyomány tiszteletből" készült monó kivezérlésmérőként, hiszen a „nagy testvér", a hardveres kialakítású berendezés is ilyen szolgáltatású volt. A cikk célja pedig azonos a szerző utóbbi időben megjelent írásainak céljával, a teljesen azonos szolgáltatású, de eltérő megvalósítású berendezések hardveres és szoftveres megoldásainak, felépítésének összehasonlítása.

A sztereoműszer egyik lehetséges változata

A sztereováltozat tervezésénél cél volt az eredeti (monó) nyák huzalozásának lehető legnagyobb mértékű felhasználása.

Ha sztereoműszert szeretnénk készíteni ugyanezzel a kijelzési koncepcióval, mármint a 4×16 LED kijelzéssel megoldani a 60 LED vezérlését, akkor a PORT-ok számával bajban leszünk, nem elég a PDIP tokozású ATMEGA8 23db I/O portja. Ha a kijelzőmátrix szervezése 5×12, éppen elég lenne a PORT-ok száma (17 LED vezérlő kimenet, 2 A/D bemenet, AUTO, MAN, OFF, RESET vezérlő bemenetek). Ez a verzió a szoftver teljes átírását és új nyák-tervet jelentene.

De nemcsak a digitális részt kellene újra tervezni, az egy mérőerősítő helyett is kettőt kell a nyákon elhelyezni.

Az analóg rész megvalósítása. Ha kivezérlésjelző panelméretén nem szeretnénk változtatni, a két mérőerősítőt lényegesen kisebb SMD alkatrészekkel kellene megvalósítani. Ezzel viszont az áramkör nyákjának beültetése otthoni körülmények között válna nehezebbé. Egy másik, lehetséges megoldás a mérőegyenirányító két csatornássá alakítására két, külön kis panel használata, amelyek az „anyanyákra" épülnének, csatlakozókkal.

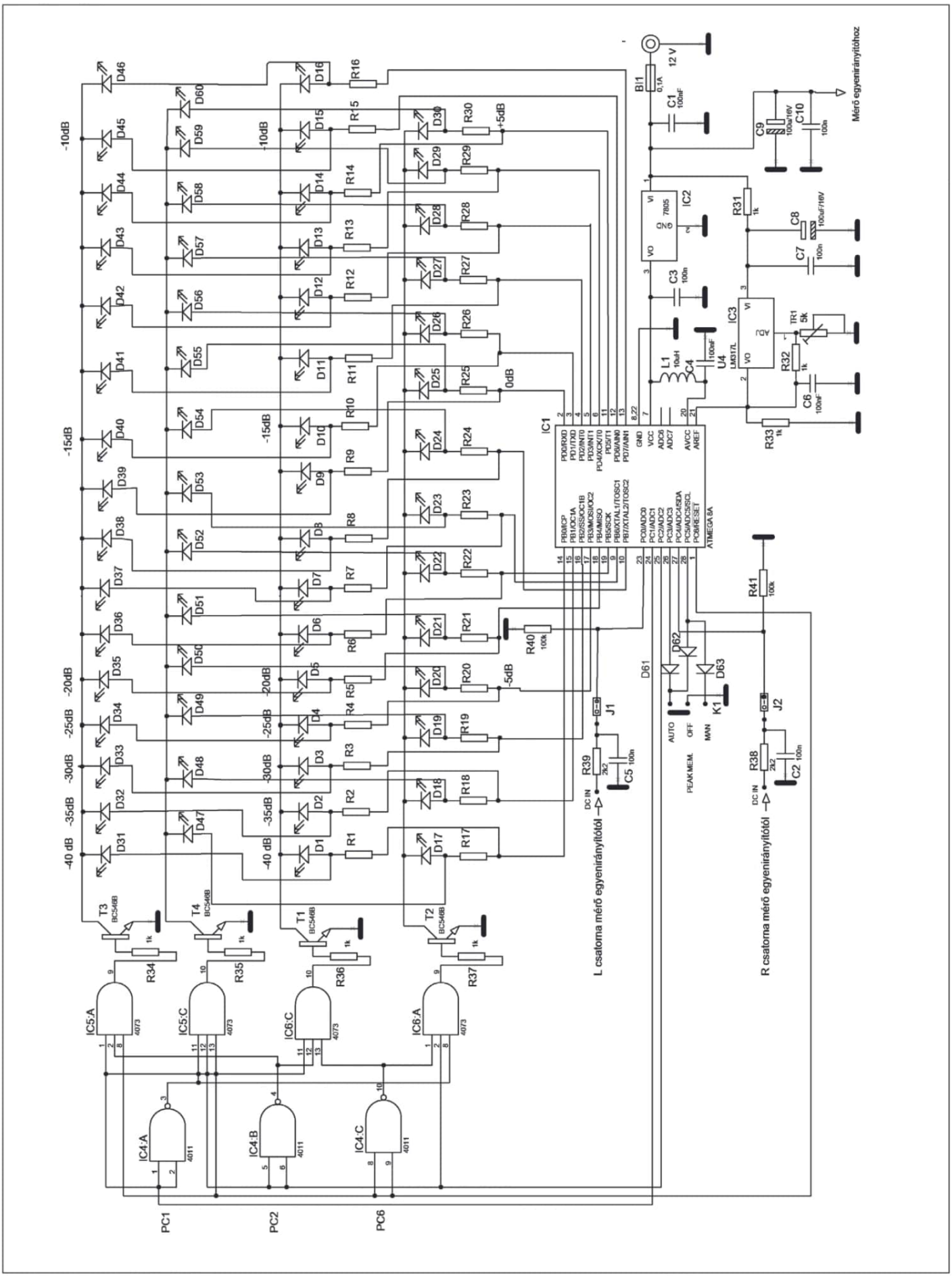
A digitális rész megvalósítása. Ha nem akarunk változtatni a 16-os LED-csoport kijelzésen, a sztereoműszert 4-szer 16 LED-del valósíthatjuk meg, amelyekből 60-at építünk be. Ebben az esetben négy PORT láb szükséges a négy LED-csoport vezérléséhez, de ennyi PORT nem áll rendelkezésre. Egy PORT kimenetet nyerhetünk, ha a korábbiakban már említett módon felhasználjuk a RESET lábat, PORT kimenet funkcióval. Ezt a megoldást választva három szabad PIN áll rendelkezésre, de négy vezérlő kimenet szükséges. A három bitnek nyolc lehetséges állapota van, ezekből választhatjuk ki a nekünk megfelelő négy kombinációt. Ekkor sem kerülhetjük el a nyák kismértékű áttervezését, ugyanis egy kombinációs áramkört kell alkotni a négy LED-sort vezérlő négy jel előállításához. A kis áramkör megépíthető három inverter és négy darab három bemenetű ÉS kapu felhasználásával. A sztereoműszer kapcsolási rajzát a **18. ábrán** láthatjuk.

Szükséges továbbá egy újabb PORT PIN a második (R) A/D konverter bemenetének. A MEMÓRIA RESET (PC4) funkciót megszüntetve ez a PIN alkalmas bemenetnek. Az üzemmód kapcsoló (AUTO, OFF, MAN) OFF állásába kapcsolva a memória törlődik, ez helyettesítheti a RESET nyomógombot.

A két csatornának AUTO üzemmódban két időzítőre van szüksége az egy másodperces kioltás vezérléséhez. A jobb csatorna egy másodperces időzítőjének a rendelkezésre álló TIMER-ek közül például a nyolc bites TC0-t választhatjuk, amelyet egy regiszterrel kell kiegészíteni az ezres nagyságrendű számolás eléréséhez.

Ha marad a LED-ek 16-os csoportokra osztása, a monoszoftvert viszonylag egyszerű adaptálni a sztereováltozathoz. Mindössze annyit kell tenni, hogy a monoszoftvert meg kell duplázni, és a szubrutinok nevét egy „L" vagy „R" kiegészítővel ellátni. Ezen felül a kilépési pontokon a másik csatorna programjára kell irányítani a szoftver futását.

A kivezérlésmérő sztereó változatának elkészítése befejezés előtt áll, esetleges érdeklődés esetén egy következő RT-számban megjelenhetnek a megépítéssel kapcsolatos tapasztalatok.


-10dB
-15dB
-20dB
-25dB
-30dB
-35dB
-40 dB
0dB
-5dB
+5dB
IC1
ATMEGA 8A
IC2
7805
IC3
LM317L
U4
IC4:A
IC4:B
IC4:C
IC5:A
IC5:C
IC6:C
IC6:A
4011
4073
T1
T2
T3
T4
BC546B
PC1
PC2
PC6
L csatorna mérő egyenirányítótól
R csatorna mérő egyenirányítótól
Mérő egyenirányítóhoz
DC IN
AUTO
OFF
MAN
PEAK MEM.
12 V
0,1A

18. ábra

LOMEX

ELEKTRONIKAI
ALKATRÉSZKERESKEDELEM

1134 Budapest, Lehel utca 17.

Nagykereskedelem
telefon: +36-1 349-5906
fax: +36-1 320-3292
honlap: www.lomex.hu
e-mail: info@lomex.hu

nyitva tartás:
hétköznap 9:00 - 17:00

Szaküzlet (kisker)
telefon: +36-1 320-2610
fax: +36-1 320-3292

e-mail: szakuzlet@lomex.hu

nyitva tartás:
hétköznap 9:00 - 17:00

Webshop
telefon: +36-1 237-1639
honlap: www.lomex.hu

e-mail: webshop@lomex.hu

ABC · ALTERA · ATMEL · Avago Technologies · COMUS · CYPRESS · Displaytech Ltd. · ELNA · Everel · EVERLIGHT · FAIRCHILD SEMICONDUCTOR · FORYARD · freescale · FUJITSU · GAINTA · HAHN · Honeywell · HUEY JANN · Infineon · intersil · International IOR Rectifier · JAMICON · Kingbright · KOA Your Passive Solution · KST · Littelfuse · MAKRAI · NSK · NXP · OMRON · ON Semiconductor · OSRAM Opto Semiconductors · PANJIT · preci-dip · SAC · SAMSUNG · SCI · SIGNAL LUX · LONG CHUAN · SPANSION · SUPERTRONIC · TAIWAN SEMICONDUCTOR · TDK EPCOS · TEAPO G·LUXON · TEXAS INSTRUMENTS · TE connectivity · TOSHIBA · Viking · VISHAY · WIMA · WOER · YAGEO

Global Focus Kft.

Műszerek- és méréstechnikai eszközök
forgalmazása, karbantartása

Global Focus Kft.

Műszer-és méréstechnikai webáruház:

MŰSZERHÁZ.hu

www.globalfocus.hu info@globalfocus.hu T: 061/4811233

Digitális monitor, analóg spektrumanalizátorhoz

Dr. Tolnai János okl. híradástechnikai szakmérnök, HA5LQ@freemail.hu

Az Analóg spektrumanalizátor *címmel a* 2014-es évkönyvünkben *megjelent cikk többek között kitért arra, hogy ezekben a műszerekben annál tökéletesebben valósítható meg az egymáshoz közeli spektrumkomponensek szétválasztása, minél kisebb a beállított KF-sávszélesség. Kisebb sávszélességnél azonban a mérést lassúbb frekvenciapásztázással (szkenneléssel) kell végezni. Nagyon lassú pásztázásnál (még hosszú utánvilágítású katódsugárcső ernyőjén is) egyszerre csak a vizsgált frekvenciatartomány kis részén látható a mérési eredmény, így a mérés gyakorlatilag kiértékelhetetlenné válik.*

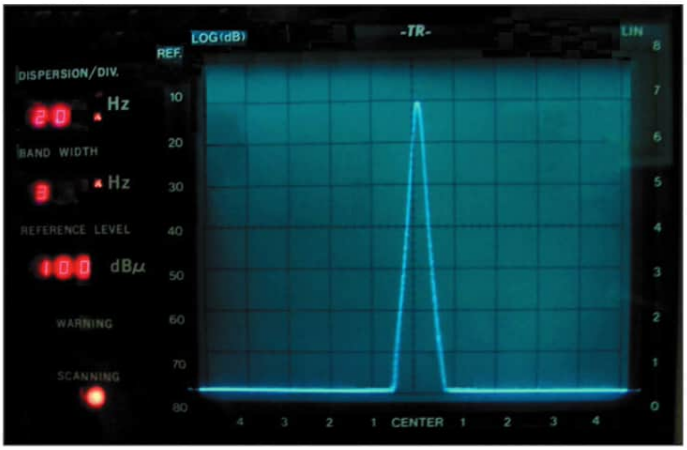
A régebbi fejlesztésű műszerekben a mért spektrumkomponensek pontos frekvenciájának mérése sem biztosított. Az alább ismertetésre kerülő „digitális monitor" az analóg spektrumanalizátor SCAN (= *X*) bemenetére adott jellel lassan pásztázza végig a vizsgálni kívánt frekvenciasávot, egyidejűleg az *Y* kimeneten megjelenő mért jelből vett mintákat digitalizálja, és a zajt átlagolva memóriába rögzíti. Színes LCD-jén a kijelölt teljes frekvenciatartományban, csökkent zajjal jelenik meg – és újabb szkennelésig ott is marad – a spektrumanalizátor ernyőképe. (A szkennelés egy kapcsolóval meg is szakítható.) A kijelzőn kiválasztott mérési ponton a pásztázás leáll addig az ideig, amíg a műszerhez csatlakoztatott, a mérési eredményt digitális formában is kiadó frekvenciamérő a kívánt pontosságú mérést el nem végzi. Az így kapott frekvenciát, és az ezen mért jelszintet (más adatokkal együtt) megjeleníti az LCD-n.

1. Rövid összefoglaló: a spektrumanalizátor KF-sávszélessége és a szkennelési idő összefüggése

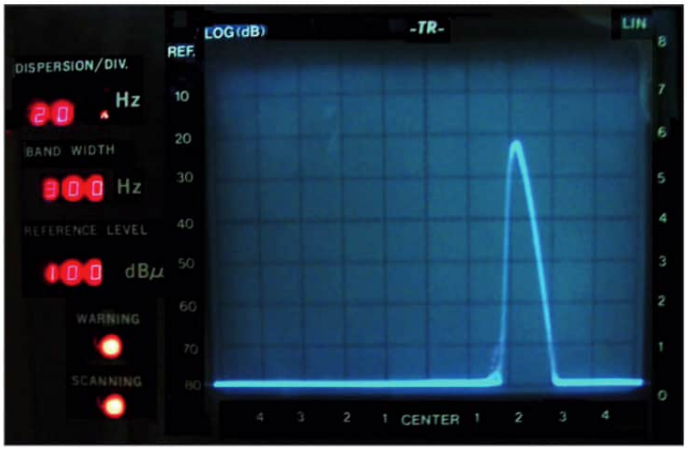
A középfrekvenciás erősítő sávszélességét rezgőkörökből összeállított szűrők alakítják ki. Egy B sávszélességű rezgőkör „feléledéséhez", azaz rezonanciafrekvenciáján a maximális amplitúdójú jel kialakulásához t = 1/B idő szükséges. A spektrumanalizátor összetett szűrőjénél pedig még nagyobb, akár t = 10/B feléledési időre lehet szükség.

Ha ennél rövidebb ideig tart az adott frekvenciatartomány pásztázása (azaz túl gyors a szkennelés), a mért spektrumkomponensnek nem csak a kijelzett feszültségszintje nem éri el azt az értéket, amely megfelelő hosszúságú gerjesztéskor létrejönne, hanem a szűrő feléledési ideje alatt a pillanatnyilag szkennelt frekvenciája is megváltozik, ezért az ernyőn az így kialakuló maximum is a ténylegestől eltérő frekvenciának megfelelő helyen keletkezik. Az **1. ábrán** egyetlen szinuszjel spektruma látható 3 kHz-re beállított KF-sávszélesség esetén (*X*: 1 DIV = 20 kHz, *Y*: 1 DIV = 10 dB, *B* = 3 kHz). Ugyanennek a jelnek, a spektrumanalizátoron csak a KF-sávszélességet 300 Hz-re csökkentve a kialakuló spektrumképét a **2. ábra** mutatja (*X*: 1 DIV = 20 kHz, *Y*: 1 DIV = 10 dB, *B* = 300 Hz). Utóbbinál a tizedakkora sávszélességhez ez a sebesség már túl nagy, amit az ábra bal oldalán az alulról második „WARNING" LED is jelez. Az ernyőn a jel a ténylegesnél 2 osztással (40 kHz) nagyobb frekvencián, kb. 12 dB-lel kisebb jelszinten jelenik meg.

Ha olyan spektrumanalizátorunk van, melynek KF „feléledéséhez" viszonylag rövid, 2/B időnek megfelelő eltérítési sebesség tartozik, akkor B =10 Hz KF-sávszélesség választásakor 2/10 = 0,2 s szükséges annak letapogatásához. 200 Hz/DIV diszperziónál így egy osztáshoz (200 Hz = 20·10 Hz) hússzor



1. ábra



2. ábra

3. ábra

ekkora, 20·0,2 s = 4 s, a teljes ernyő (10 DIV) teljes pásztázásához 10·4 s = 40 s idő tartozik. Ennyi ideig a hosszú utánvilágítású katódsugárcsövön sem marad kiértékelhető jel!

A példában a diszperzió és a KF-sávszélesség az említett cikkben bemutatott Takeda Riken 4110/4113A spektrumanalizátoron beállítható legkisebb értékekkel egyezik meg. A kis elérhető sávszélesség (10 Hz) lehetővé teszi pl. egy adó 50 Hz-es hálózati eredetű brumm-modulációjának a mérését is, de az ehhez szükséges lassú pásztázáskor a képernyőn csak a szkennelő fénypont és a hosszú utánvilágítás miatt mögötte legfeljebb egy rövid jelszakasz látható. (A műszernek van analóg tároló üzemmódú katódsugárcsővel szerelt változata is, ott ez a probléma nem vetődik fel.) Optimális kiértékeléshez a teljes vizsgált frekvenciatartományban egyszerre kellene a mért spektrumnak az ernyőn megjelennie. Jelen cikk egy e feladatra készült, az ernyőn megjelenő jelalakot digitálisan rögzítő, és egy folyadékkristályos pontmátrix-kijelzőn folyamatosan megjelenítő kiegészítő készüléket ismertet.

E „digitális monitor" csatlakoztatását az teszi lehetővé, hogy a spektrumanalizátornak van az ernyő *Y* eltérítésével arányos feszültséget szolgáltató kimenete, valamint a szkennelési üzemmódok között választható külső vezérlése is (**3. ábra**). Ekkor a szkennelést vezérlő feszültséget a műszer a hátlapján lévő „SCAN" BNC csatlakozójáról kapja.

2. A digitális monitor funkciója és üzemmódjai

„Digitális monitorunk" (a továbbiakban: monitor) a spektrumanalizátor *SCAN* bemenetére küldi a megfelelő sebességű és feszültségszintű, a szkennelést vezérlő jelet. Minden szkennelési lépés után A/D átalakítójával digitalizálja és feldolgozza a spektrumanalizátor *Y AXIS* kimenetéről kapott feszültséget. Egy frekvencián (már csak a digitalizálás miatt, illetve a kis jelszinteken jelentkező zaj csökkentése érdekében is) több szintmérést végez, és ezeket átlagolva számítja ki, rögzíti és jelzi ki az LCD skáláján az eredményt. Az átlagolandó mérések számát a kezelő állíthatja be. Mivel minden feszültségmérés időt vesz igénybe, a mérések számának növelése egyúttal a szkennelési sebesség csökkenésével jár. Így az átlagolandó feszültségmérések számát növelve, a kis sávszélességre állított spektrumanalizátor KF „feléledéséhez" is több időt adhatunk.

Egy, a kezelő által választott, frekvenciamérésre kijelölt ponton a szkennelő feszültség nem változik tovább, ameddig a csatlakoztatott DFM-129 típusú, a mérési eredményt digitális kimenetén is megjelenítő külső frekvenciamérő a mérést el nem végzi. A mérendő frekvenciájú jelet a spektrumanalizátorhoz tartozó TR-4151 tracking generátor szolgáltatja. A beállított mérési ponton először a szkennelő feszültség állandósul, majd a monitor jelet ad a frekvenciamérőnek a mérés elindítására. A mérés befejezését a frekvenciamérő a mérési eredménnyel együtt jelzi a monitornak. A mért frekvenciát, az ezen mért átlagolt jelszintet, és a szintmérések számát a monitor folyadékkristályos kijelzőjén a skála alatti sorban kiírja, majd folytatja a szkennelést.

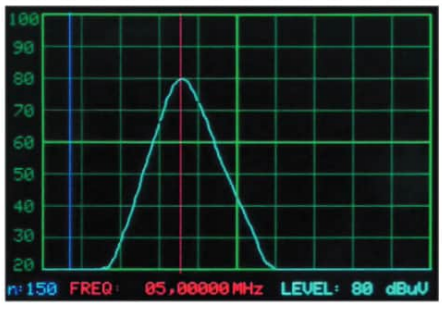
A spektrumanalizátor skála feliratozása szerint egy vízszintes osztás 10 dB-nek felel meg. A *legfelső vízszintes skálavonal mindig a beállított „referenciaszint"*. (A referenciaszintet a spektrumanalizátor bemeneti osztójának, valamint KF-erősítésének beállítása határozza meg. Értékét az előlapon kijelzi, ld. majd a *7. ábrán*). A referenciaszintet ez a műszer „dBμ" abszolút feszültségszintben adja meg (ez az adott frekvencián megjelenő szinuszos jelkomponens effektív értékének 1 μV-hoz viszonyított, dB-ben megadott értéke: dBμ =20·lg(U/1 uV). Más példányoknál referenciaként az abszolút teljesítményszintet használják (dBm), amely a rendszertől függően 50 vagy 75 ohmos lezáráson 1 mW-os teljesítményhez viszonyított jelszint: 10 lg(P/1 mW) (50 ohmos rendszerben 0 dBm = 224 mV, a két mennyiség közti átváltás: dBm = dBμ-107).

A vízszintes skálavonal felirata a legfelső skálavonal bal szélénél „REF", alatta lefelé haladva sorban: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 (ami a referenciaszinthez viszonyított negatív dBμ, vagy dBm érték). A műszeren más dB/DIV érzékenység is beállítható, ekkor is a referenciaszint marad a legfelső skálavonalon, a többi skálaosztás értéke pedig a beállított érzékenység szerint módosul.

A monitor LCD-je szintén 10 dB/DIV-ben van skálázva, de itt átkapcsolhatóan két kijelzési mód között lehet választani. A számértékek vagy azonosak a spektrumanalizátor skálájának feliratával, vagy – a leolvasás gyorsítása érdekében – ezekhez már hozzáadódik a referenciaszintnek megfelelő dB érték, melyet a spektrumanalizátor kijelzőjéről (ezt is majd a *7. ábra* mutatja) leolvasottal egyezőre a monitor előlapján egy yaxley kapcsolóval lehet beállítani.

Az LCD-n megjelenő ábra (5 MHz-es, effektív értékét tekintve 10 mV-os szinuszos feszültség mérésekor, referenciaszint hozzáadására kapcsolt skálán) a **4. ábra** szerint alakul (REF = 100 dBμ, BW = 100 Hz, DISP = 200 Hz/DIV).

Minden skálavonal zöld (a keret és a középvonalak világoszöldek), a mért jelalak enciánkék színű. Jelen esetben az előlapi kapcsolóval referenciaszintként 100 dBμ van beállítva, ennek megfelelően alakulnak a skála bal oldalán feltüntetett szintek. A függőleges kék jelzővonal a pillanatnyilag szkennelt pont helyét jelzi, a skála bal és jobb széle között oda-vissza egyenletes sebességgel mozog (kivéve a frekvenciamérés időpontját, amikor a mérés idejére megáll). Sebességét az (ugyancsak előlapi potenciométerrel megválasztható), átlagképzéshez felhasznált mérések száma határozza meg, amely a kijelző alsó sora bal oldalán kék színnel íródik ki (az ábrán „n:150"). A jelalaknak azt a pontját, amelyen a frekvenciát mérni kívánjuk, a függőleges piros jelzővonal jelöli ki. Ez az előlapi (helikális) potenciométerrel vízszintes irányban tetszőleges pontra állítható. Amikor a mérés megtörtént, a mért frekvenciát a kijelző alsó sorában középen piros színnel (itt:



4. ábra

5. ábra

FREQ: 05,00000 MHz), az ezen a frekvencián mért jelszintet (itt: LEVEL: 80 dBµV) a jobb oldalon enciánkék színnel jeleníti meg.

Amikor a monitor skálája a spektrumanalizátoréval azonos dB feliratozásra van átkapcsolva, a mérési eredmény kijelzése „LEVEL: REF- … dB" formájú (itt: „LEVEL: REF-20 dB" lenne).

Az **5. ábrán** a 4. ábra mérése közben látjuk a generátort, a frekvenciamérőt, és amit ezzel a szkennelési sebességgel a spektrumanalizátor ernyőjén lehet látni (azaz egy fénypontot, néhány milliméteres utánvilágítás-„csóvával").

3. Előlapi kezelőszervek, üzemmódok, kijelzések

A bedobozolt monitort működés közben a **6. ábra** mutatja. A hálózati kapcsolótól, ill. a fölötte a bekapcsolt állapotot mutató zöld LED-től jobbra a felső forgatógombbal kell azt a referenciaszintet beállítani, amely a spektrumanalizátor kijelzőjén megjelenik (a **7. ábrán** 70 dBµ, sárga színnel kijelölve).

Az ábrán a referenciaszint felett látható a KF-sávszélesség (100 Hz), és a beállított diszperzió (1 kHz/DIV). Az alsó helipot-értékbeállító gombbal nagyon finom lépésekben változtatható a frekvenciamérés helyét jelző, függőleges piros jelzővonal helyzete. Az ettől jobbra levő forgatógomb az átlagoláshoz elvégzendő mérések számát változtatja. Fölötte három átkapcsoló látható. A legfelsővel választható ki a monitor kijelzőjén a legfelső skálavonal (= referencia) bal oldalán kijelzett dB érték. Ez vagy (mint a katódsugárcső előtti skálán) „REF", vagy az előbb kézzel beállított, tényleges dB referencia. Alatta a STOP kapcsolóval a pásztázás leállítható, a megjelenített ábra kimerevedik.

Ha a frekvenciamérési pontot változtatják, sem a kijelző alsó sorában felírt mérési frekvencia, sem a felírt ott mért érték már nem érvényes, ezt a kiírt frekvencia után megjelenő piros csillag jelzi addig, ameddig a kijelölt mérési ponton a frekvencia- és amplitúdómérés, illetve ennek megfelelő kijelzés meg nem történik.

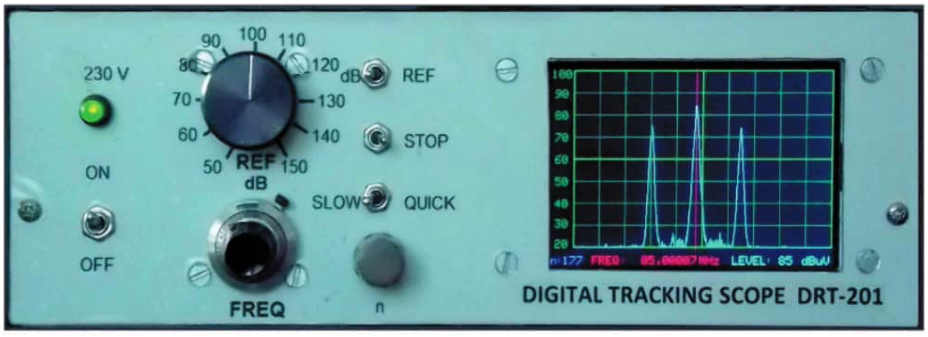
Ha a referenciaszintet a REF/dB kapcsoló dB állásában átkapcsoljuk, az azonnal kiíródik. Viszont a referenciaszint átkapcsolásakor a szintmérés kiírt eredménye mellett enciánkék csillag jelenik meg, jelölve azt, hogy mellette a mérési eredmény hibás. A csillag akkor tűnik el, amikor a kijelölt frekvencián az új mérés megtörténik, és az annak megfelelő mérési eredmény íródik ki.

A SLOW/QUICK átkapcsoló SLOW állásában a monitor a fent leírtak szerint

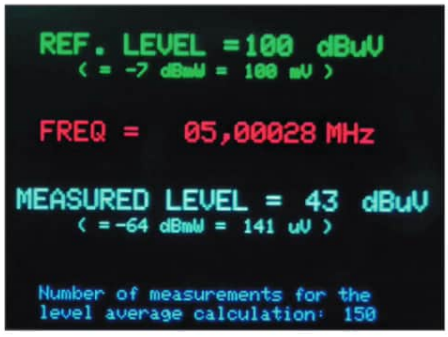
7. ábra

működik. A két üzemmód között az alsó kapcsolóval lehet választani.

A QUICK üzemmód nagyobb szkennelési sebességgel segíti a vizsgálni kívánt frekvenciatartomány gyorsabb kiválasztását és áttekintését. A frekvenciamérés idejére a szkennelés ebben az üzemmódban is megáll, és ekkor kellő idő van a KF keskenyebb sávú szűrőinek „feléledéséhez", és az átlagképzéshez beállított számú méréshez is. Így most a mért frekvencia és a feszültségszint is pontos. A gyorsabb szkennelést az időigényes skálarajzolás elhagyásával lehetett elérni. QUICK üzemmódban ezért a monitor kijelzőjén csak számszerű adatok: a beállított referenciaszint, a mérési frekvencia, az ezen a frekvencián mért jelszint, és az átlagképzéshez felhasznált mérések száma jelenik meg (**8. ábra**). Ilyenkor viszont van hely a kijelzőn a mért feszültség mindhárom módon (µV, dBµV, dBmW) való kiírására is. Maga a mért frekvencia/amplitúdó görbe (amely a kívánatosnál nagyobb szkennelési sebesség esetén a valósághoz képest torzított) ebben az üzemmódban csak a spektrumanalizátor képernyőjén jelenik meg, a frekvenciamérés pontja is itt jelölhető ki. A frekvenciamérés ideje alatt a fénypont nem halad tovább, így ez a pont könnyen felismerhető (fényereje is nagyobb).



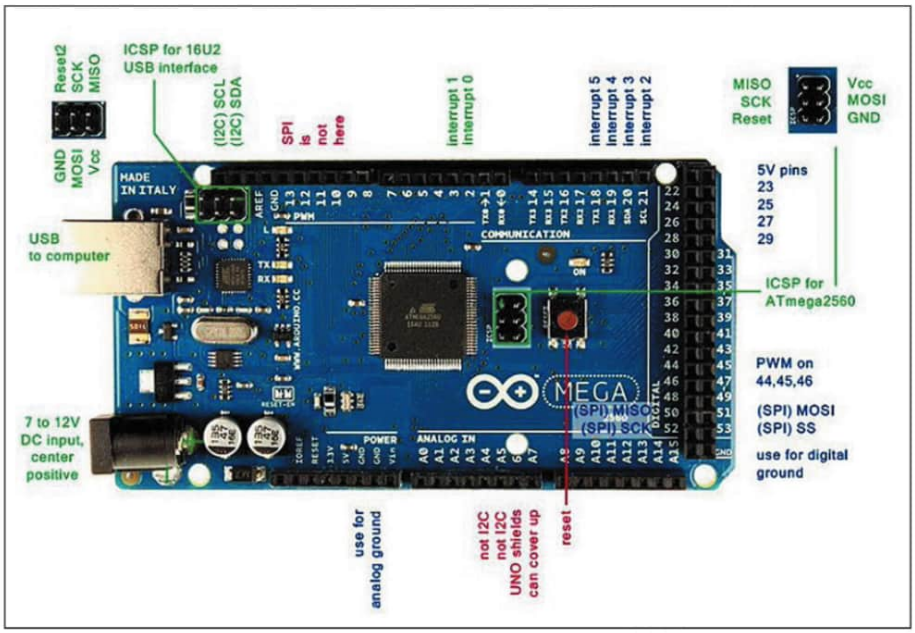
6. ábra



8. ábra

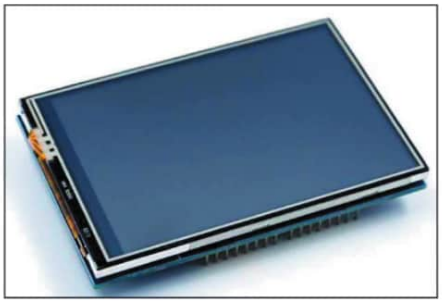
4. A monitor áramköre és működése

A monitor áramköre egy ARDUINO MEGA 2560 R3 (**9. ábra**) panelra épül.



9. ábra

Ennek lábkiosztása olyan, hogy a 3,5″-os, ILI9486 TFT LCD panel (**10. ábra**) közvetlenül rádugaszolható úgy, hogy megfelelő kivezetésein kapja mind a tápfeszültségeket (3,3 és 5 V), mind az ARDUINO panel *A0–A5* és *D2–D13* kivezetéseiről a kijelzés vezérléséhez szükséges jeleket (**11. ábra**). Így, a két panelt összedugaszolva, szinte a monitor összes feladatának elvégzésére kész áramkört kapunk. Összesen 16 analóg, és 54 digitális I/O kivezetése van, melyből 6 analógot és 12 digitálisat az LCD foglal le. (Pontosabban 14 digitálisat, mert az LCD panelen levő két – egyébként kihasználatlan – tüske elfoglalja az ARDUINO panel *D0* és *D1* I/O portjait. Ezekhez, a funkció nélkül lefoglalt portokhoz pl. forrasztással hozzá lehetne férni, de a monitor kábelezésénél előnyt jelent, ha csak dugaszolható csatlakozásokat használunk. Csak a frekvenciamérővel 50 erű kábel köti össze a monitort…) Így a további áramkörök csatlakoztatásához 10 analóg és 40 digitális I/O csatlakozási pont áll rendelkezésünkre.

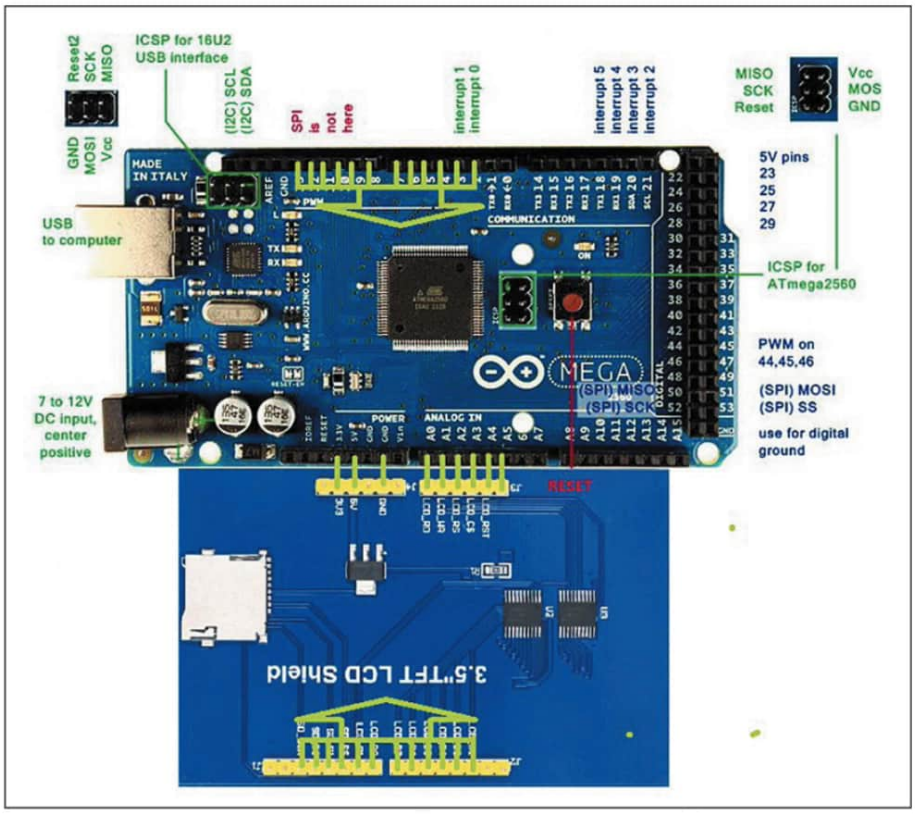


10. ábra

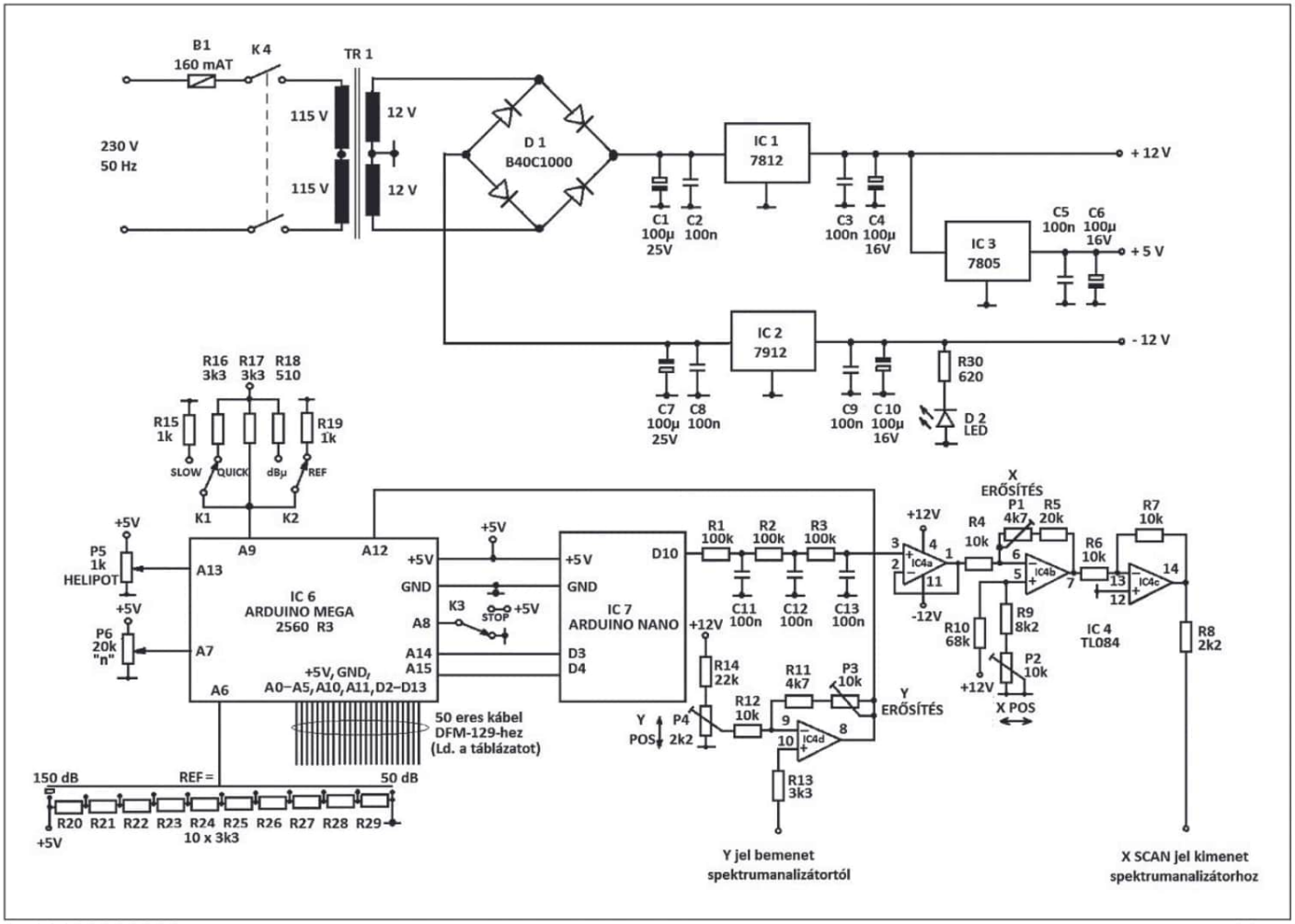
A kijelölt spektrumkomponens frekvenciáját kellő pontossággal mérő, FMV által gyártott DFM-129 típusú frekvenciamérőt 1982-ben fejlesztették, és a kor igényeinek megfelelően a 9 kijelzett digit mindegyikét a kimeneten egyidejűleg, BCD kódban, 4-4 biten (összesen 36 biten) jeleníti meg. Úgyszintén 1-1 bitet foglalnak le a tizedespontok. Esetünkben ez 4 bit, mivel a két legnagyobb helyi érték melletti tizedespont kijelzésére nem lesz szükség. Ez összesen 40 bit, amely leköti az összes, még rendelkezésre álló digitális I/O portot. A mérés indítási parancs, illetve a befejezés visszajelzése szintén 1-1 bitet vesz igénybe. Ezt a két bitet már analóg portokra kellett kötni. A további 8 analóg I/O port funkcióját a **12. ábra** kapcsolási rajza alapján követhetjük.

A spektrumanalizátorról érkező, a függőleges eltérítéssel arányos feszültség IC4d fázist nem fordító erősítőn keresztül jut az *A12* portra. Az erősítőt úgy kell beállítani, hogy kimenőfeszültsége a spektrumanalizátor ernyőjén kijelzett jelszint 0…-80 dB közötti változásakor az A/D átalakító által feldolgozható 0…+5 V legyen. A kijelzőn megjelenő mért jel függőleges pozíciójának állítására P4, az erősítés változtatására P3 trimmer szolgál. Helyes beállítás esetén az LCD-n a mért jelnek megfelelő pixelnek a skálaosztások közötti függőleges helyzete azonos a spektrumanalizátor ernyőjén megjelenő megfelelő fénypontéval.

A 10 bites A/D átalakító 1024 szintet különböztet meg, referenciafeszültsége megegyezik a +5 V-os tápfeszültséggel.



11. ábra



12. ábra

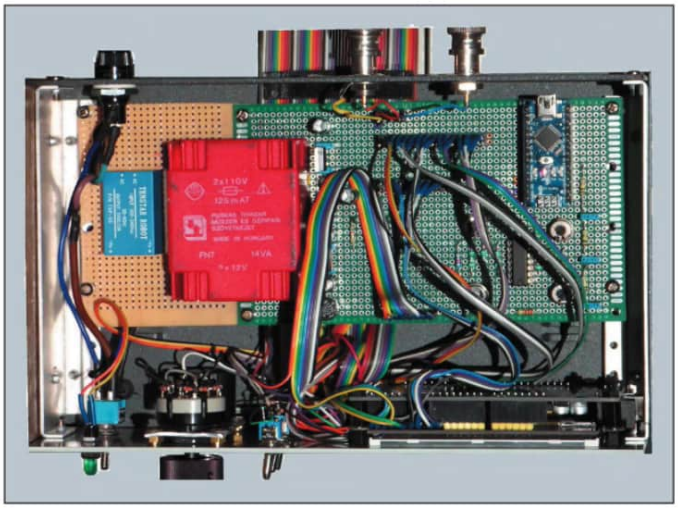
A vízszintes osztások között 36 függőleges pixel, a függőleges osztások között 44 vízszintes pixel a távolság az osztásvonalaknak az LCD-re rajzolásakor. Ez a beosztás teszi lehetővé a kijelző optimálisnak mondható kihasználását úgy, hogy a referenciaszintek és a mérési adatok kiírására is legyen megfelelő hely. A nyolc vízszintes osztásvonal által határolt sorok száma 8·36 = 288 pixel. A beolvasható szintek száma 1024, így a beolvasott szint 1024/288 = 3,5555-öd része felel meg egy pixelnek. A szoftver ezt a számot „yszorzo" néven tárolja. A mérési beállítások, ill. eredmények kiírására a még el nem használt 32 függőleges pixel sora szolgál.

A frekvenciamérés helyét kijelölő, P5 helikális potenciométerről érkező, ugyancsak 0…5 V közé eső feszültség az *A13* portvonalra érkezik. Az A/D átalakítás után a beolvasott értéket a szoftverben „FREQpot" jelöli. Már csak a digitalizálás miatt is, ez a beolvasott érték a helipot állásának változtatása nélkül is ±1 szintet változhat. Hogy ilyen instabilitás miatt a frekvenciamérés helye ne ugráljon, a szoftver figyelmen kívül hagyja az ilyen kis változást. A frekvenciamérés kívánt helyét a kijelzőn függőleges piros vonal jelzi. A 10 függőleges skálaosztás által határolt oszlopok száma 10·44 = 440 vízszintes pixel, a keret és minimális túlpásztázás további 2 pixelt foglal el. Az adott bemenőfeszültség 1024 lehetséges értékének tehát 442 pixelt kell megfeleltetni. A két érték hányadosa 1024/442= 2,316742-nek adódik. Ez a szám a programban „xszorzo" néven van rögzítve. A kijelző 480 oszlopából még szabadon maradt 38-ba a vízszintes skálavonalak bal oldalán a dB skála számértékei kerülnek.

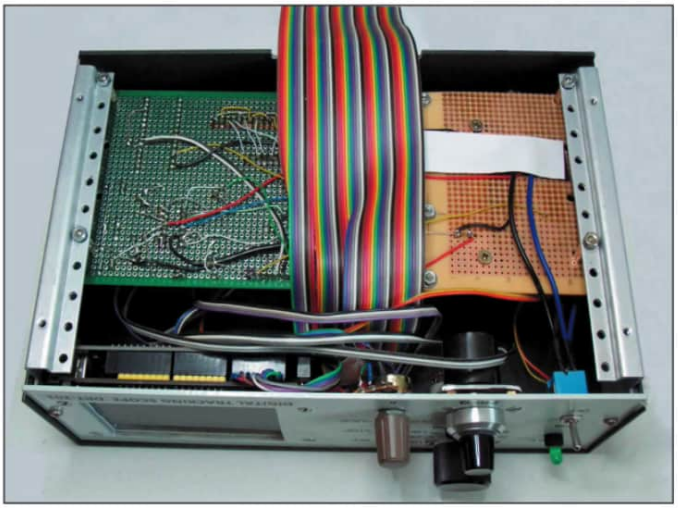
Az egyes frekvenciákon az átlagoláshoz végzendő feszültségmérések számát szintén analóg potenciométerrel lehet beállítani, melynek csúszkája az *A7* bemenethez csatlakozik. Az ehhez tartozó A/D átalakító is 1024 szintet tud beolvasni („mpot"), de ilyen sok mérés sem mutat más átlagot, mint pl. 250. Ezért a szoftver a mérések számát 260-ban maximálja, az 1004 szintet ennyi lehetőség között osztja szét. Előfordulhat, hogy a potenciométer csúszkájának szélső állásaiban feszültsége nem pontosan egyezik a sarkaira kapcsolttal. Ilyen esetben is biztosítandó a leggyorsabb (1 mérés, nincs átlagolás) választást, a szoftver az ebben a szélső állásban a mérések számát („msz") 0–20 beolvasása esetén egyaránt 1-re állítja be.

A spektrumanalizátor dB érték leolvasásánál figyelembe kell venni a 7. ábrán kijelzett „referenciaszintet", amely ezen a spektrumanalizátoron a bemenő osztó és a KF-erősítés lehetséges értékeit figyelembe véve 11 különböző, 10 dB-enként változtatható szint (50–150 dBµ) lehet. Az előlapról állítható yaxley kapcsoló 11 állása a *GND* és a *+5 V* közé sorosan kapcsolt, 10 darab 3,3 kohmos ellenállásból álló feszültségosztó pontjainak felel meg. A kiválasztott feszültség kerül az *A6* bemenetre. Itt az aktuális dB értéket a szoftver annak alapján állapítja meg, hogy az A/D átalakító által mért feszültség milyen feszültségtartományban van.

Az előlapon három kétállású kapcsoló látható (*dB/REF*, *STOP*, *SLOW/*



13. ábra



14. ábra

QIUCK). A *STOP* kapcsoló két állásában az *A8* bemenetre vagy 0, vagy +5 V jut; utóbbi állásban a mérés a pillanatnyi kijelzés megtartásával megáll, visszakapcsolva az előbbi pozícióból folytatódik. A másik két kapcsolónak csak egy I/O PIN jutott, az *A9*. A két kapcsoló sarkaihoz kötött ellenállásokból a 4 lehetséges kapcsolóállásban egy-egy feszültségosztó alakul ki, amelyek révén „sávosan" jól megkülönböztethető feszültség (elvileg 0,71 V/2 V/3,4 V/5 V) kapcsolódik az *A9* bemenetre.

Hátralékos feladat még a spektrumanalizátor vízszintes (SCAN) vezérlése. Az alkalmazott megoldás háromszög alakú, egyenletesen növekvő, ill. csökkenő analóg feszültséget állít elő azon a jelszinten, amelyet a spektrumanalizátor a bemenetén vár. (A TR4110-en a skála bal szélétől jobb szélére vezetéséhez –5…+5 V között lineárisan változó feszültség volt szükséges.) Ezt a feszültséget előállíthatná maga az ARDUINO MEGA panel is, de ez olyan sok időt emésztene fel, amely a szkennelést már értelmetlenül lelassítaná. Ezért ezt a feladatot az IC7 ARDUINO NANO panel, IC4a, IC4b, IC4c és a hozzájuk kapcsolódó passzív elemek látják el. Az ARDUINO MEGA panel *A14* kimenetéről az ARDUINO NANO panel *D3* bemenetére érkező LOW impulzus nullázza a folyamatot, az ARDUINO MEGA *A15* kimenetéről az ARDUINO NANO panel *D4* bemenetére érkező LOW impulzusok pedig egy szinttel léptetik utóbbi *D10* kimenetén megjelenő PWM jel kitöltési tényezőjét.

Az ARDUINO NANO panel igen rövid szoftvere fogadja a nullázó, és léptető impulzusokat. A kijelzőnek 440 oszlopa okán 440 ilyen impulzus érkezik, de a PWM csak 256-ot tud feldolgozni. Igy a PWM beállításához a 440, lineárisan változó feszültséget generáló impulzust átalakítja 256, a PWM kitöltési tényezőjét vezérlő impulzusra (osztó szám 440/256 = 1,7187), és miután így a sugarat az ernyő bal széléről a jobb szélére eltérítette, a léptetési irányt megfordítva, a sugarat az ernyő jobb széléről a bal szélére vezeti. A két ARDUINO panel szinkron működését a nullázó impulzusok biztosítják.

A NANO panel *D10* kivezetésén megjelenő PWM jelet R1, C11, R2, C12, R3, C13 szűrő alakítja át a kitöltési tényezővel arányos (lineárisan növekvő ill. csökkenő), minimális hullámosságú egyenfeszültséggé. Terheletlen lezárását az IC4a követőerősítő biztosítja. Az IC4b és az azt követő IC4c invertáló erősítő feladata az így kialakuló, 0 és +5 V közötti feszültséget a spektrumanalizátor *SCAN* bemenete által igényelt jelszinthez illeszteni. A P1 trimmerrel az erősítést, a P2 trimmerrel pedig a munkapontot úgy kell beállítani, hogy az elektronsugár a vezérlés hatására vízszintesen (szinkronban az ugyanezen skálaosztások között a folyadékkristályos kijelzőn megjelenő fényponttal) pontosan az első és a tizenegyedik függőleges skálaosztás között mozogjon. A TR-4110 esetében a 0 dB-hez tartozó *Y* kimenőjel +3,22 V, a -80 dB-hez tartozó pedig +0,31 V volt.

5. Tápegység

A nyákba forraszthető 230/2×12 V-os hálózati transzformátor szekunder tekercseinek közös pontja a testelés. A Graetz egyenirányító így kétutasan egyenirányított pozitív és negatív feszültséget is biztosít, melyet a C1 és a C7 kondenzátor szűr. E feszültségekből stabilizátor IC-k (7812, 7912) állítják elő az analóg TL084 IC +12 V-os és –12 V-os tápfeszültségét. A +5 V feszültséget a 11. ábra kapcsolási rajzán szintén stabilizátor IC (7805) állítja elő, bemenete a +12 V-os tápfeszültségre van kötve. (A működő példányban a stabilizátor IC-nek nincs külön hűtőfelületük, így a 7812 erősen melegedett. Alkalmas hűtőfelülettel a 12. ábra szerinti megoldás megfelelő lenne.) Legegyszerűbb megoldásként a megépített áramkörben a 7805 kimenete szabadon maradt, a +5 V tápfeszültséget egy korábban beszerzett, a hálózati transzformátor melletti üres helyre épp beférő miniatűr, TENSTAR ROBOT gyártmányú kapcsolóüzemű tápegység szolgáltatja.)

5. Szerelés

Az elkészült monitor készen kapható alumínium dobozba, minden raszterponton furattal és forponttal ellátott két fejlesztő nyáklapra épült (**13. ábra**). A zöld, kétoldalas, furatgalvanizált panelre az áramkörök és csatlakozóik kerültek. A panel mérete a nyáktrafó számára már nem volt elegendő, az részben az egyoldalas bakelit panelre került, mellette a TENSTAR ROBOT tápegységgel.

Az ábra jobb alsó részén látható az előlappal párhuzamosan felszerelt, összedugaszolt ARDUINO MEGA panel és a folyadékkristályos kijelző. A különböző panelok, kapcsolók közti összekötendő kábelek tüske- ill. hüvelysorokkal csatlakoznak egymáshoz. Forrasztás főként az előlapi kezelőszerveknél, a hátlapi csatlakozóknál látszik. Természetesen az áramkörök, hüvelysorok, foglalatok, és a néhány alkatrész összekábelezése forrasztva vannak a panel másik oldalán (**14 ábra**).

A doboztető levétele után oldalról hozzáférhető a 2530R3 ARDUINO panel USB csatlakozója (ehhez az ezen az oldalon levő alumínium tartólemezből egy kis

15. ábra

részt ki kellett reszelni). A NANO panel USB csatlakozója a hátlap levétele után válik hozzáférhetővé. Így szükség esetén mindkét ARDUINO panel programja kiszerelés nélkül változtatható.
A P5 helipot és a referencia-átkapcsoló yaxley tárcsa a dobozon előlapjával párhuzamos, távtartók közbeiktatásával felcsavarozott kis alumíniumlemezre van szerelve, a helipot értékbeállító gombjának felszerelhetősége érdekében. Ezt a lemezt és az összedugaszolt ARDUINO 230R3/LCD szerelvényt süllyesztett csavarok rögzítik az előlaphoz.
A frekvenciamérőhöz csatlakozó sokeres kábel számára a hátlap alján van egy téglalap alakú kivágás. A keskeny kivágásnál a kábel alatt és fölött gumi közbetét helyezkedik el, amely védi a kábelt a sérüléstől, egyúttal rögzíti az alsó dobozfedő felszerelésekor. Az összeszerelt doboz hátoldalát a **15. ábra** mutatja. Az „X" BNC csatlakozó a szkennelő feszültség kimenet, az „Y" csatlakozó bemenetre pedig a mért jellel arányos feszültség érkezik. A megfelelő hosszúságú, 50 eres összekötő kábel a frekvenciamérő közelében két 25 eres részre válik szét, melyek végére a DFM-129 I. és II. jelű, 25 pólusú CANNON csatlakozóinak ellendarabja van szerelve (**16. ábra**).

6. Szoftver

Az ARDUINO MEGA 2530R3, és az ARDUINO NANO panel e monitorban használt szoftverét a *Rádióvilág Kft. honlapjáról* lehet letölteni.

MEGA 2530R3 szoftver:

16. ábra

A program SETUP részében a panel portjainak definiálása után inicializálja az LCD-t, beolvassa az előlapi SLOW/QUICK, REF/dB kapcsolók állását, felrajzolja a skálát, majd a vízszintes skálavonalakhoz tartozó szinteket:
• A REF/dB kapcsoló *REF* állásában a referenciaszintnek megfelelő legfelső vízszintes skálavonal elé „REF" felirat, a további sorok elé a (spektrumanalizátor ernyőjével megegyezően) a „10"–„80" számok kerülnek. A számok kiírása a vízszintes negyedik pixelnél kezdődik, kivéve a „REF" feliratot, ami egy karakterrel hosszabb, ezért hogy kiférjen, a második pixelnél kezdődik.
• A kapcsoló *dB* állásában minden vízszintes skálavonal elé írt számhoz hozzáadódik az előlapi yaxley tárcsával beállított referenciaszintnek megfelelő dB-érték.
• A skála alatt elkészülnek a mért frekvencia és az azon mért jelszint állandó (tehát a mérési eredménytől független) részének a feliratai.

A SETUP után különböző eljárások definiálása következik:
• freqmer() - Frekvenciamérés. A frekvenciamérőnek kiadott mérésindítási parancs után vár a befejezés jelzésére, majd beolvassa és a skála alatt piros színnel kiírja (a tizedespontot a megfelelő helyre helyezve) a mért frekvencia számjegyeit, majd a „kHz" vagy a „MHz" mértékegységet. (A mértékegységet a DFM-129 kimenetén nem jelzi ki, azt a szoftver a tizedespont helyéből számolja ki. A negyedik helyi érték tizedespontja azonban két esetben is világít:
- 60 MHz-es méréshatárban 10 s-os méréskor „kHz",
- 1,2 GHz-es előosztóval 0,1 s-os méréskor pedig „MHz"
mértékegységet kell megjeleníteni. Ekkor a szoftver a helyes mértékegység megállapításánál a frekvenciamérés időtartamát is figyelembe veszi.
• ymer() - Amplitúdómérés. Beolvassa, és a kijelzőre írja az átlagolásnál figyelembe veendő mérések számát. Ennyiszer méri a spektrumanalizátorról érkező *Y* jel értékét, átlagolja, kiszámolja az ennek megfelelő pont helyét, és felírja az LCD-re. Ezt a pontot egy egyenessel összeköti az előző felrajzolt ponttal.
• ykiir() - Kiszámítja és dB-ben a kijelzőre írja a mért értéket (ezt az eljárást a frekvenciamérés után hívja a szoftver).
• ref() – Beolvassa a yaxley tárcsáról a beállított referenciaértéket, és a hozzá rendelt kapcsoló állása szerint vagy ennek megfelelően, vagy a spektrumanalizátor skálájával azonos módon felírja az egyes vízszintes skálaosztások elé a megfelelő dB értéket.
• exp() – A beolvasott *Y* értéket átszámítja dBμV-ra.

LOOP
A SLOW/QICK ill. STOP kapcsoló állásának beolvasása után *SLOW üzemben:*
• Ha a sor elején van: nullázza, majd előre lépteti *X* értékét, ha a sor végén van: nullázza, majd hátra lépteti *X* értékét.
• Törli az adott *X* oszlopot (így az ott levő előző mérési eredményt).
• A következő *X* pozícióba felrajzolja a kék oszlopot.
• Visszaírja a függőleges osztásokat jelölő pontokat a törölt *X* oszlopba.
• Visszaírja a törölt oszlopba a vízszintes osztások pontjait.
• Ha a mérésre kijelölt frekvencia helye megváltozott, a mérési eredmény után kiírja a változást jelentő piros csillagot. Amikor a frekvenciamérésre kijelölt oszlophoz ér, ha az oszlop helye az előzőhöz képest nem változott, visszaírja törölt oszlopba. Ha változott, korábbi helyén törli, és kijelölt új helyére írja a piros oszlopot, kiírja a változás tényét jelző piros csillagot, és a korábbi piros oszlop helyén visszaírja a hálópontokat.
• ymer()
• Ha a frekvenciamérés helyére kijelölt oszlophoz ér: freqmer(), ykiir().

QUICK üzemben:
• Ha a sor elején van: nullázza, majd előre lépteti *X* értékét, ha a sor végén van: nullázza, majd hátra léptei *X* értékét.
• A kijelzőre írja a *8. ábrán* látható színű és méretű szöveg állandó (tehát a mérési eredménytől független) részét
• Beolvassa a frekvenciamérés helyét kijelölő potenciométer állását.
• Beolvassa és a helyére kiírja a yaxley-el beállított referenciaszintet.
• Ha a mérésre kijelölt frekvenciához ér, megméri azt, és az ott mérhető szintet, kiszámítja dB értékét, és az LCD-n a megfelelő helyre és színnel kiírja az eredményeket mértékegységeikkel együtt.

NANO szoftver:
SETUP: Definiálja a panel portjait,
LOOP: A két bemeneten érkező feszültségszintek kombinációi szerint változtatja a PWM jel kitöltését.

A DFM-129 frekvenciamérő és a MEGA 2530 R3 csatlakozóinak bekötése a **táblázat** szerinti.

Frekvenciamérő	Helyi érték	Csatlakozási pont DFM-129		Csatlakozási pont MONITOR MEGA 2530 R3
		Csatlakozó	Kivezetés	
Digit: MSB 10^8	1	I.	4	D 46
	2		3	D 47
	4		2	D 48
	8		1	D 49
10^7	1		8	D 42
	2		7	D 43
	4		6	D 44
	8		5	D 45
10^6	1		12	D 38
	2		11	D 39
	4		10	D 40
	8		9	D 41
10^5	1		16	D 34
	2		15	D 35
	4		14	D 36
	8		13	D 37
10^4	1		20	D 30
	2		19	D 31
	4		18	D 32
	8		17	D 33
10^3	1		24	D 26
	2		23	D 27
	4		22	D 28
	8		21	D 29
10^2	1	II.	4	D 22
	2		3	D 23
	4		2	D 24
	8		1	D 25
10^1	1		8	D 18
	2		7	D19
	4		6	D 20
	8		5	D 21
10^0	1		12	D 14
	2		11	D 15
	4		10	D 16
	8		9	D 17
Mérés kész			15	A 11
Új mérés indítása			14	A 10
2. helyi értékhez tartozó DP: DP1			19	D 50
3. helyi értékhez tartozó DP: DP2			18	D 51
4. helyi értékhez tartozó DP: DP3			20	D 52
5. helyi értékhez tartozó DP: DP4			21	D 53
Mérőföld			13, 16	GND
Mérőföld		I.	25	GND

Összeállítás a rádiózás kezdeteinek történetéről és műszaki megoldásairól

Hrabál László – Simoncsics László okl. villamosmérnökök
(simoncsics.laszlo@t-online.hu)

A drótnélküli telegráfia kezdeti időszakára történő visszaemlékezések főleg a feltalálók érdemeit ecsetelik (Popov, Marconi stb.), és időrendben taglalják az eseményeket. A készülékek működési elvét és a felhasznált alkatrészeket csak a korabeli szakirodalom tárgyalja, amelynek olvasásától - a beszerzési nehézségek mellett - az is elveszi a fiatalabb korosztály kedvét, hogy szinte szótárt kell használnia a nyelvezet megértéséhez. Ebben a cikkben főleg az elektroncsöves berendezések elterjedése, az 1920. előtti megoldások ismertetésére szeretnénk szorítkozni, nem feledkezve meg a hazánkban végzett - főleg haditechnikai célú - kísérletekről. Írásunk kapcsolódik A csepeli rádióállomás néhány műszaki berendezése című cikkhez, amennyiben ismerteti az abban említett berendezések működését. A cikk végén a korabeli irodalom megértéséhez szükséges legfontosabb szakkifejezések mai megfelelőit közöljük.

1. Bevezetés

Kétségtelen tény, hogy a vezeték nélküli híradástechnika kezdete összekapcsolódik az olasz *Guglielmo Marconi* nevével, és ideje az általa 1896 és 1899 között végzett kísérletekkel esik egybe. Természetesen tudjuk, hogy ez a találmány sem köthető egy ember nevéhez, és a korábbi megemlékezések is hol 1896-ot, hol 1897-et emlegetnek [1], [2]. A háború után a Magyar Szabadságharcos Szövetség szerkesztésében megindított *Rádiótechnika* – átértékelvén a korábbi ismereteket – ismét egy névhez (*Alexander Popov)* és egy évvel korábbi dátumhoz (1895. május 7.) kötötte a rádió születését. [3]

Mivel nem szándékoztunk visszaemlékezést írni, a fontosabb felfedezések és események dátumait a **táblázatban** közöljük *Forbáth László* igen alapos és objektív elemzéséből kiindulva [4]. Az adatokat igyekeztünk több forrásból ellenőrizni, mivel a szerzők saját honfitársaik érdemeit hangsúlyozzák elsősorban [5-9]. Természetesen igen elfogult a nálunk is megjelent Marconi életrajzok egyike [10], de a regényes formából is kitűnik, hogy milyen éles konkurenciaharc folyt a Marconi-féle, az amerikai *Lee De Forest* és a német Telefunken Drótnélküli Távíró Társaságok között. Ahol eltérő adatokat találtunk, ott az *A technika Krónikája* c. művet vettük alapul [11]. A technikatörténet iránt érdeklődők figyelmébe ajánljuk a *Rádiótechnika évkönyvének* első tíz évfolyamában megjelent elemzéseket és visszaemlékezéseket, ezek közül is azt a táblázatot, amelyből mi a témával kapcsolatos eseményeket emeltük ki [12]. Részletes életrajzi adatokat is olvashatunk az említett feltalálókról [13]. Ugyancsak nagyon jó táblázatot közöl ezen időszak eseményeiről a [14] reprint kiadásban megjelent mű. Az ábrákon látható rajzokat a [7, 9] irodalom alapján készítettük el, csak kismértékben módosítva azokat, hogy a mai olvasó számára is érthetők legyenek. A feltalálók és az események ismertetése talán sokaknak túlzottan európai (német) centrikusnak tűnhet, de ebben az időben még az amerikai és az európai tudomány és technika teljesen külön utat járt. Gondoljunk csak az elektroncső de Forest és *Robert Lieben* által történő eltérő kialakítására!

A fellelhető irodalmi anyagokat átnézve megállapíthatjuk, hogy míg a rádió-műsorszórás megindulása utáni időszakról számtalan tárgyi és írott emlék, rajz és képanyag maradt fenn, nem lehet ezt elmondani az 1920 előtti időszakról. Különösen igaz ez, ha a magyar emlékeket kutatjuk. Ezért tartottuk fontosnak a téma ismételt felvetését.

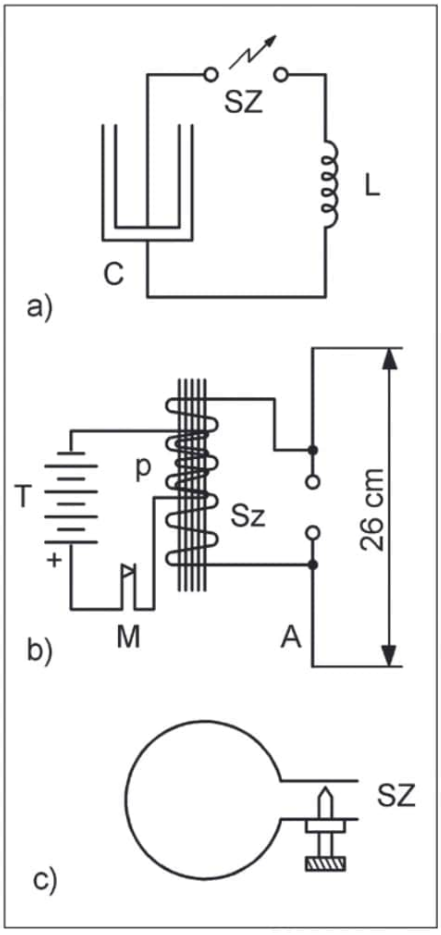
A rádió létrehozásában egyenes út vezet a *Michael Faraday* által felfedezett indukciótól – *James Maxwell* elektromágneses elméletén át – *Heinrich Hertz* kísérletéig. De kellet hozzá *Eduard Branly* kohérerje, a *Heinrich Ruhmkorff*-féle szikrainduktor, Popov viharjelzőjének antennája. Marconi idézett [1] cikkében ugyan saját találmányának tünteti fel az antennát, de ez nem felel meg a valóságnak. A tömegeknek a nagy feltalálóról alkotott képébe ugyanis nem illett az bele, hogy kizárólag felhasználta az elődök munkáját, pedig Marconi érdemeiből ez nem von le semmit, mert ezekből az eszközökből szívós munkával a gyakorlati életben használható berendezést készített, az adóhoz pedig ő használta elsőként az antennát, és a kísérletekbe bekapcsolódó (főleg amerikai és német) tudósok az ő szikratávíróját fejlesztették tovább.

Már a század elején nyilvánvaló volt, hogy csillapított rezgésekkel a hatótávolságot és a szelektivitást nem lehet fokozni, ezért a fő törekvés a kevéssé csillapított, majd a csillapítatlan nagyfrekvenciás rezgések előállítása volt. Ehhez a nagy teljesítményű adócsövek előállításáig (kb. 1920) számtalan különleges eljárás és berendezés született, amelyek a csőadók elterjedése után hamar feledésbe mentek. Cikkünkben főleg ezeket szeretnénk röviden ismertetni.

2. Az első próbálkozások

2.1. Hertz kísérletei

Heinich Hertz kísérleteivel Maxwell elektromágneses elméletét akarta igazolni, ehhez adóként egy szikrainduktort, vevőként egy egymenetes tekercset alkalmazott. Eszközeinek működési elvét az **1. ábra** alapján érthetjük meg. Már a sztatikus elektromossággal végzett kísérletek (kb. a XVIII. század közepétől) során ismert volt, ha feltöltünk



1. ábra

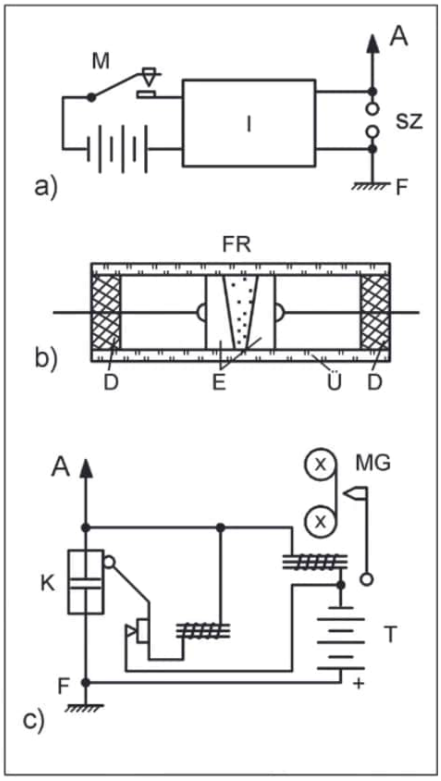
dörzselektromossággal egy leideni palackot, olyan üvegszigetelésű kondenzátort, ahol az üvegedény külső és belső falát ónfóliával vonták be, és az elektródákat egymáshoz közelítjük, szikrakisülés következik be. De csak száz évvel később *Reginald Feddersen* bizonyította be, miután a szikra képét forgó tükörrel vizsgálta, hogy nem egyetlen szikráról van szó, hanem egyszer az egyik, másszor a másik elektródáról kiinduló szikrasorozatról, vagyis oszcilláló kisülés történik. A rezgések amplitúdója folyamatosan csökken, ezért csillapított rezgésekről beszélünk. Az **1.a árán** tehát egy zárt rezgőkört (az *L* tekercsből, a *C* leideni palackból, mint kondenzátorból és az *SZ* szikraközből álló oszcillátort) látunk, amelynek frekvenciáját *William Thomson* közismert képletében határozta meg. A kísérletekhez kellett még egy eszköz, amely biztosította a kondenzátor periodikus feltöltését, ez volt a szikrainduktor (**1.b ábra**; *T*: telep, *P*: primer tekercs, *Sz*: szekunder tekercs, *A*: antenna, *M*: megszakító). Ha egy vasmagos tekercs primerkörében valamilyen megszakítóval zárjuk és nyitjuk az áramkört, a megszakításkor fellépő fluxusösszeomlás során egy feszültséglökés indukálódik, amelyet egy nagy menetszámú szekunder tekercs alkalmazásával feltranszformálunk, így a szikraközben minden megszakításkor létrejön az előbb leírt csillapodó rezgés. Később a megszakítót magával a vasmaggal működtették (villanycsengő-elv). Hertz a szekunder tekercs körébe egy szikraköz meghosszabbításaként két dróthuzalt helyezett el, megalkotva a dipól antennát.

Vevőkészülék gyanánt a kutató egy egymenetes tekercset alkalmazott, amely egy igen finoman állítható szikraközzel zárult (**1.c ábra**; *SZ*: finoman állítható szikraköz). A szikrainduktor által keltett elektromágneses hullámok néhány méter távolságra feszültséget indukáltak a tekercsben, amelynek kimutatására szolgált a parányi szikra. A feltaláló ezzel célját elérvén, tragikusan rövid élete miatt nem folytathatta kísérleteit, de kísérletileg is bebizonyította az elektromágneses hullámok létezését, azok reflexióját, elhajlását, a fényéhez hasonló megtörését szurok dielektrikumban, az állóhullámok kialakulását. Hertz nem ismerte fel kísérleteinek gyakorlati hasznát, mert detektora érzéketlen, és a kisugárzott hullámok frekvenciája abban az időben túlságosan magas volt (100…600 MHz).

2.2. Marconi kísérletei

A kísérleti összeállítás rajzát a **2. ábrán** láthatjuk. Az induktor primerkörében, amely már tanítómesterének, *Augusto Righi* professzornak köszönhetően igen intenzív szikrákat adott, egy Morse-billentyű van elhelyezve, így csak annak lenyomása alatti ideig küld az adó csillapított hullámcsomagokat a már antennából és földelésből álló nyitott rezgőkör segítségével a vevő felé (**2.a ábra**; *M*: Morse-billentyű, *I*: induktor, *SZ*: szikraköz, *A*: antenna, *F*: föld).

A leglényegesebb újítás a vevő érzékenységének megnövelése volt a kohérer segítségével (neve a latin eredetű kohézió, összetartó erő jelentésű szóból származik). Ezt *Eduard Branly* fedezte fel és alkalmazta az elektromágneses hullámok vizsgálatára (**2.b ábra**; *FR*: fémreszelék, *E*: elektródák, *Ü*: üvegcső, *D*: lezárás). Popov is használt kohérert már a viharjelzőjében. Ennek a detektornak a lényege, hogy egy üvegcsőben két elektróda között finom fémreszelék helyezkedik el, amelynek nagy az ellenállása egészen addig, amíg az antennából érkező elektromágneses feszültségimpulzus nem éri. Ekkor

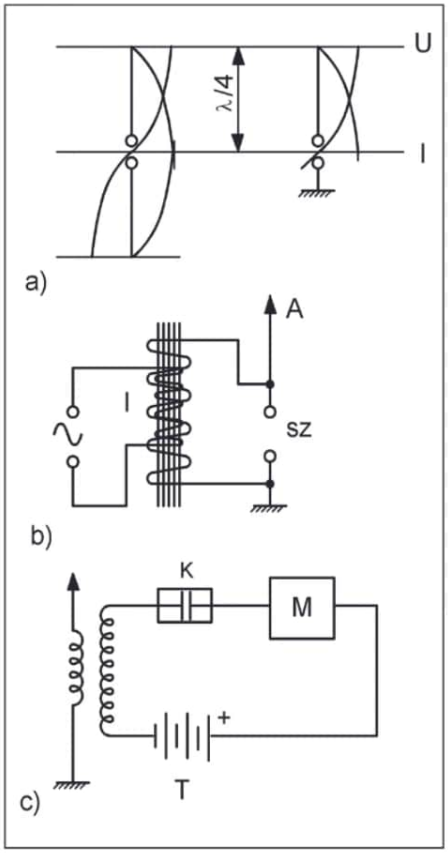


2. ábra

a fémszemcsék részben gyakorlatilag összehegednek, vezető híd képződik a két elektróda között, a kohérer ellenállása drasztikusan csökken. Ez az állapot fennmarad egészen addig, amíg az üvegcsövet kívülről gyengén meg nem ütjük, ekkor a szikra által összerendezett fémpor vezető szála szétesik, és az ellenállása az eredeti értéket veszi fel. A kohérer kocogtatására a villanycsengőkben alkalmazott szerkezetet alkalmazták. Marconi a vevőjében a Morse-féle gép írószerkezetét használta a vett jelek rögzítésére (**2.c ábra**; *K*: kohérer a kopogtatóval, *MG*: Morse-féle írógép, *T*: telep). 1898-tól nagyfrekvenciás transzformátort alkalmazott az antenna és a kohérer között (Marconi-féle jigger), így a vevő érzékenységét fokozta.

2.3. Slaby és Arco kísérletei

Adolf Slaby professzor vizsgálta az antenna, mint nyitott rezgőkör mentén kialakult áram- és feszültségviszonyokat (**3.a ábra**), megállapította a szükséges antennahosszat (negyed hullámhossz), és az antenna hangolását induktivitással és kapacitással. Asszisztensével, *Georg Arco* gróffal végrehajtott kísérletei során az induktort váltakozó árammal táplálták, így a megszakító felesleges lett (**3.b ábra**). A kísérletekből kiderült, hogy a kohérernek az antenna talppontjában történő elhelyezése hibás, hiszen



3. ábra

itt feszültségminimum van. Ekkor került át a kohérer a szekunder körbe (**3.c ábra**; *K*: kohérer, *M*: Morse-féle írógép, *T*: telep). Az eddigiekből kitűnt, hogy a kezdeti kísérletek során a legfontosabb kérdést, az adó és a vevő rezonanciájának (hangolásának) fontosságát nem ismerték fel. Ezt a német kutatók oldották meg az ezredforduló körül, amivel óriási lökést adtak a szikratávírók fejlődésének.

3. Az adóberendezések fejlődése

3.1. A szikratávíró tökéletesítése

Abban az időben – egy mai kezdő rádióamatőr számára is – triviális dolgokat fel kellett találni! Mivel egyre többen kapcsolódtak be a fejlesztési munkába, főleg Amerikában és Németországban, a fejlődés rohamos volt. Miután a szikratávíróval kapcsolatos alapvető elméleti kérdések tisztázódtak, a cél a hatótávolság és a szelektivitás növelése volt. Ehhez az adóban, a szikraközben és az oszcillátor egyéb elemeiben fellépő veszteségeket kellett csökkenteni. A mérőeszközök is mind tökéletesebbé váltak, ezek közül legfontosabb a hullámmérő (mai fogalmaink szerint frekvenciamérő) volt. A szikraköz, mint a rezgőkörben lévő nemlineáris ellenállás, nagyban befolyásolta a csillapítás mértékét, ezért különböző anyagokkal, védőgázzal, és többszörös szikraközökkel kísérleteztek. A kondenzátorok (akkori kifejezéssel sűrítők) kialakítása is változott, a dielektromos veszteségek és a kondenzátor szélein fellépő csúcskisülés csökkentésére törekedtek. Feltalálták a változtatható kapacitású kondenzátorokat (*Nikola Tesla* és *Adolf Köpsel*). A tekercseknél az ohmikus ellenállás, az örvényáramú veszteségek csökkentésére törekedtek, és már alkalmazták a szigetelt sodrott huzalt (litze) a skin-effektus csökkentésére. Az induktivitást folyamatosan tudták változtatni a variométerek segítségével.

3.2. Az alkalmazott antennák

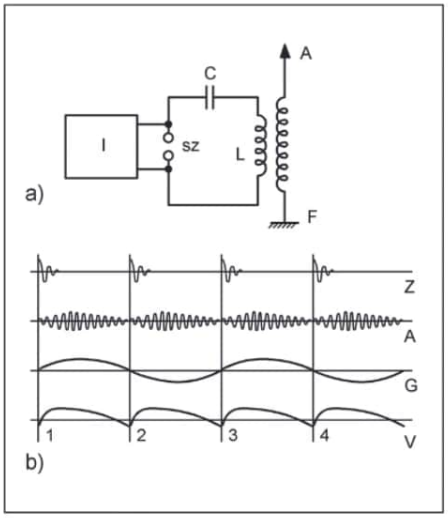
Az antennák alakja attól függött, hogy szárazföldi vagy hajóra szerelt berendezésről volt-e szó. A kezdetben egyszerű függőleges huzal, amelynek kapacitását a végén elhelyezett fémlappal kívánták növelni, átalakult többszörös antennává, ahol a kifeszített, párhuzamosan kapcsot huzalok legyező, gúla vagy ernyő alakban voltak elrendezve. A hajókon T vagy L alakú antennákat használtak. Az antenna körébe kapcsolt induktivitást, illetve kapacitást már alkalmazták az antenna „hosszabbítására", ill. „rövidítésére".

A kísérletekhez korlátozás nélkül, szabadon választották meg a frekvenciát (10…1000 kHz), ezért hamarosan jelentkezett az a probléma, hogy az adók zavarták egymást. Ennek megoldására hívták össze a rádiókonferenciákat.

3.3. Kevéssé csillapított jelekkel dolgozó adók

Az adó teljesítményét, a szikraköz nagyságát már a koronakisülés miatt nem lehetett tovább növelni. *Ferdinand Braun* alkalmazott először a szikra áramkörében zárt rezgőkört, amelynek önfrekvenciája az antenna által alkotott nyitott rezgőkörével azonos volt, és a két kör csatolását változtatni lehetett (**4.a ábra**; *I*: induktor, *SZ*: szikraköz, *C* és *L*: a rezgőkör elemei). A zárt rezgőkör (akkori kifejezéssel oszcillátor) által felvett teljesítményt növelni lehetett, és az antennakörből eltűnt a szikraköz. Míg a korábbi megoldásokban a kisugárzott elektromágneses hullám 4-5 rezgés után megszűnt, a Braun-féle adónál ez csak 20-30 rezgés után következett be.

A csatolt rezgőkörökből és a csillapított rezgésből adódóan az adó kétféle

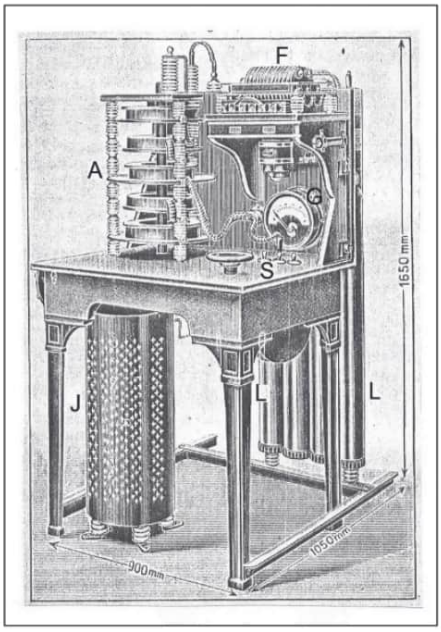


4. ábra

frekvenciát sugárzott le (lebegés), ami a vevők éles hangolását nehezítette. Ezt a problémát *Max Wien* oldotta meg, módszerének neve: lökésszerű indítás kioltott szikraközzel. Megfigyelte, hogy míg nagy szikraköznél a kétféle frekvencia jelentkezik, addig 0,2 mm-es szikraköznél a **4.b ábrán** felrajzolt rezgés figyelhető meg a primer és a szekunder körben (*Z*), tehát ha a rezgés a primerkörben gyorsan megszűnik, az energia a szekunder körből nem áramlik vissza, a lebegés megszűnik, és a csillapodás mértéke is csökken. Az *A* görbe a az antenna által kisugárzott jelek lefolyását ábrázolja, a *G* az induktort tápláló 500 Hz-es generátor jele, a *V* a vevő fejhallgatójában hallható 1 kHz-es hang. Az 1, 2, 3, 4… szikrák, a generátor feszültségének nullátmeneteinél.

Az adó kapcsolási rajza nem tért el a Braun-féle adóétól, csak arra kellet törekedni, hogy a primerkörben lejátszódó első néhány rezgés után a szikra megszakadjon, így ez a rezgőkör a továbbiakban szakadást mutat. Számtalan megoldást dolgoztak ki a cégek (köztük a Telefunken Gesellschaft für drahtlose Telegraphie) a szikraköz alakjára és a szikra kioltására. Arco gróf kihasználta a kioltott szikra azon lehetőségét, hogy akár ezer szikrát lehetett gerjeszteni másodpercenként, így a Telefunken áramforrásként 500 Hz frekvenciájú váltóáramú generátort alkalmazott, ami a kohérerénél a sokkal érzékenyebb fejhallgatóvételt (akkori kifejezéssel telefon alkalmazását) tette lehetővé (4.b ábra).

A Telefunken zenei hangzású kioltott szikraközös adóit még a húszas években is alkalmazták. Az **5. ábrán** egy ilyen, közepes teljesítményű (1…2,5 kW) adóberendezést mutatunk be [19]. Az asztal alatt *J* nagyfeszült-

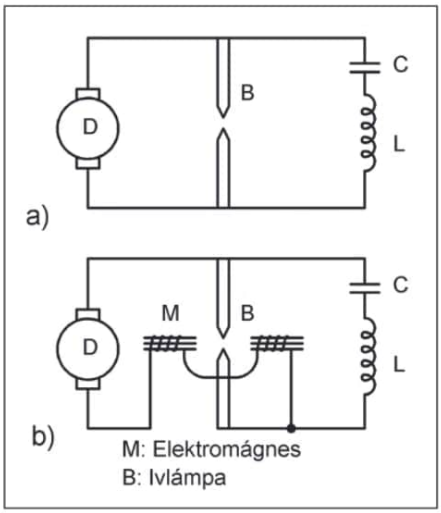


5. ábra

ségű transzformátor, mögötte *L* leideni palackok láthatók. Az ezek előtti tekercsek három hullámhosszra történő átkapcsolást tesznek lehetővé az *S* kapcsolók segítségével. Az antenna a képen nem látható, a szobán kívül helyezték el. Az antennaáramot *G* hődrótos galvanométer mérte, ennél a teljesítménynél ez kb. 20 A volt. Az antennával sorba kötött *A* hosszabbító tekercsek hangolása az asztal jobb oldalán található kerék forgatásával történt úgy, hogy a műszer maximumot mutasson.

3.4. Csillapítatlan hullámok keltése

Csillapítatlan rezgéseket háromféle módon lehetett kelteni: ívlámpa, nagyfrekvenciás forgógép és elektroncső segítségével. Ez utóbbival már nem foglalkozunk, mivel ez csak 1913-ban



6. ábra

(Meissner-féle visszacsatolás) vált ismertté, és az első világháború után, a Langmuir-féle nagyvákuum-csövek alkalmazásával tudott elterjedni.

Simon jött rá először, hogy az ívlámpát hangok erősítésére és hangszóróként is lehet használni, amikor annak áramkörébe induktív csatolással mikrofont és telepet kapcsolt (beszélő ívlámpa). *William Duddel* mutatta ki elsőként, hogy az ívlámpa csillapítatlan rezgések előállítására is alkalmas, de oszcillátora a hangfrekvenciás tartományban működött (éneklő ívlámpa), ennek kapcsolását a **6.a ábrán** láthatjuk (*D*: egyenáramú dinamó). *Waldemar Poulsennek* sikerült az ívfény védőgázba helyezésével, az elektródák hűtésével és az ív mágneses térbe helyezésével a frekvenciát növelnie (**6.b ábra**; *M*: elektromágnes, *B*: ívlámpa). Mindez az adóállomás kezelését nehézkessé tette, ha még hozzávesszük azt is, hogy a szénelektródát forgatni kellett és az ív hosszát stabil értéken kellett tartani. A nehézségek ellenére a rádiótechnika fejlődése szempontjából óriási jelentősége volt Poulsen rezgéskeltőjének, mert ennek segítségével indultak meg a kísérletek a drótnélküli telefónia területén.

Gyors forgású váltóáramú generátort *Reginald Fessenden* (60 kHz) és *Ernst Alexanderson* (100 kHz) készíttetek. Gondot jelentett a nagy fordulatszám (20 000 ford/min), ezért indultak kísérletek a frekvencia-sokszorozására. *Goldschmidt* ezt a gépen belül, *Zennek* a gépen kívül oldotta meg úgy, hogy *Graetz* eljárásával kétszeres alapfrekvenciájú egyenirányított félhullámokat állított elő, és ezt a jelet vezette a primer tekercsbe. Az említetteken kívül többféle frekvencianövelő eljárást alkalmaztak, a naueni forgógépes adóban pl. Arco frekvenciasokszorozó transzformátorát.

A csillapítatlan rezgéseket keltő generátorok – jobb hatásfokuk következtében – a húszas évekre kiszorították a stabil állomások közül a szikraadókat, ezek egyszerű felépítésük és olcsóságuk miatt a hajókon még sokáig tartották magukat. Még a magyar műsorszórás megindulása (1925) után is panaszkodtak a déli országrészben lakó hallgatók, hogy a hajók szikratávírói zavarják Budapest I. vételét.

Az eddigi ismertetésekből az olvasó számára érthetővé válhatott, hogy csak az elektroncsöves adók teremtették meg a lehetőséget az igazi amatőrmozgalom megindulása előtt.

4. A vevőkészülékek fejlődése

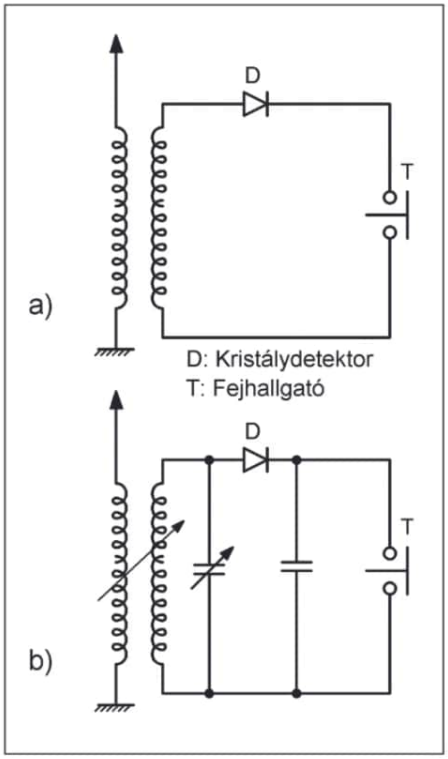
A vevőkészülékek a detektorok tökéletesedésével váltak egyre érzékenyebbé. Az első detektor a kohérer volt, amelyről már szóltunk. Sokféle kohérerrel és antikohérerrel kísérleteztek (ez fordítva viselkedik, elektromágneses impulzus hatására elveszti vezetőképességét). Marconinak volt még egy mágneses detektora, amely a huzalos magnetofon elvéhez hasonlóan működik (Poulsen találta fel 1900-ban). A készülékek érzékenysége csak a nagyfrekvenciák egyenirányítása alapján működő detektorok alkalmazása után növekedett.

4.1. Elektrolitikus detektor (Schlömilch cella)

Működésének lényege, hogy kétféle fémet elektrolitba mártva az áramiránytól függően más ellenállást mutat. Ezeket a század elején kezdték használni, és akkumulátorok töltésére még a második világháborúig használták (a szeléncellák elterjedéséig). Amennyiben az egyik elektródot nagyon vékony huzalból (pl. a néhány mikronos platinahuzalból, az ún Wollaston-huzalból) készítették, a detektor alkalmas volt nagyobb frekvenciák egyenirányítására is. A detektort kis egyenfeszültséggel nyitóirányban előfeszítették, így javult az érzékenysége. A kristálydetektorral szembeni hátránya mozgó állomásokon, hajókon mutatkozott meg, ahol az elektrolit szintje ingadozott.

4.2. Kristálydetektor

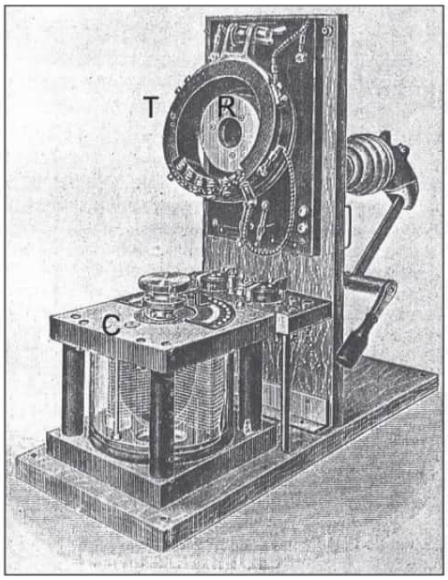
Braun fedezte fel, hogy különböző fémek és kristályos anyagok érintkezésénél az ellenállás az áramiránytól függ. *Bosse* használta először a galenit (PbS) kristályt és egy csúcsban végződő érintkezőt nagyfrekvenciák detektálására (a tűsdióda elődje). Ezután megindultak a kísérletek a különféle kristályokkal és fémekkel. Az amatőrök az érzékenyebb kristályokat használták, de ezekkel a vétel bizonytalan volt, mert a tűvel mindig a legérzékenyebb pontot kellett megkeresni. Az ún. fix detektorok kisebb érzékenységűek voltak, de nem igényeltek állandó beállítást, ilyen volt a karborundum (SiC) detektor is. Egyes kristályokhoz még néhány voltos nyitóirányú előfeszítés is szükséges volt [16]. Az elektroncső alkalmazásának elterjedése után a detektor a triódás audion lett.



7. ábra

5. Vevőkészülékek

Már a Braun-féle adók vételénél alkalmazták a Morse-írógép helyett a fejhallgatót, ami az érzékenységet növelte. Ennek kapcsolási rajzát a **7.a ábrán** láthatjuk (*D*: kristálydetektor, *T*: fejhallgató). A fejhallgatóban recsegésszerű hangot lehetett hallani, amelyet a légköri zavaroktól nehéz volt megkülönböztetni. A Telefunken társaság zenei hangzású adóinak vételénél (kb. 1 kHz) viszont a légköri zavarok és az egyéb adók eltérő hangmagasságai nem zavarták a vételt. A kevéssé csillapított



8. ábra

rezgések vételénél vezették be a vevők hangolását (**7.b ábra**). A csillapítatlan hullámok vételére ezek a készülékek nem feleltek meg, mert a moduláció hiánya miatt a fejhallgatóban csak egy koppanás hallatszott, függetlenül a jel hosszától. Poulsentől eredt a gondolat, hogy a vevőben egy villanycsengőhöz hasonló megszakítót (tikkert) kell alkalmazni a hullámok hallhatóvá tételére. A heterodin rendszerű vevőben a Poulsen-féle ívlámpás hullámkeltővel a bejövő hullámokkal üttetett helyi rezgést állítottak elő. A visszacsatolt audion alkalmazása ezt a problémát is megoldotta.

A **8. ábra** egy első világháború előtt készült, Telefunken gyártmányú asztali vevőkészüléket mutat. A *T* jelzésű antennatekercs csatolása az *R* rezgőköri tekerccsel a jobb oldalon levő kar segítségével volt módosítható. A hangolás a *C* üvegházas, légszigetelésű forgókondenzátorral történt a maximális hangerőre. A készülék a zenei hangzású csillapított sugárzás vételére volt alkalmas kristálydetektorral és fejhallgatóval (telefonnal).

6. Felhasználási területek

Mint már említettük, a XIX. század nagy fizikusai nem gondolhattak az elektromágneses hullámokkal kapcsolatos felfedezések gyakorlati felhasználására. Ebben előrelépést jelentett Popov viharjelzője és kezdetleges kísérletei információ továbbítására. Marconi érdeme, hogy összekapcsolta Morse ismert készülékét a szikrainduktorral és ezzel megteremtette az információ drótnélküli továbbítását nagy távolságokra is. Korábban voltak ilyen irányú, de eredménytelen kísérletek. A sikereken felbuzdulva viszont a századfordulón már megfogalmazódott az az igény, hogy ne csak Morzejeleket (telegráfia), hanem emberi beszédet is lehessen a rádió útján továbbítani (telefónia).

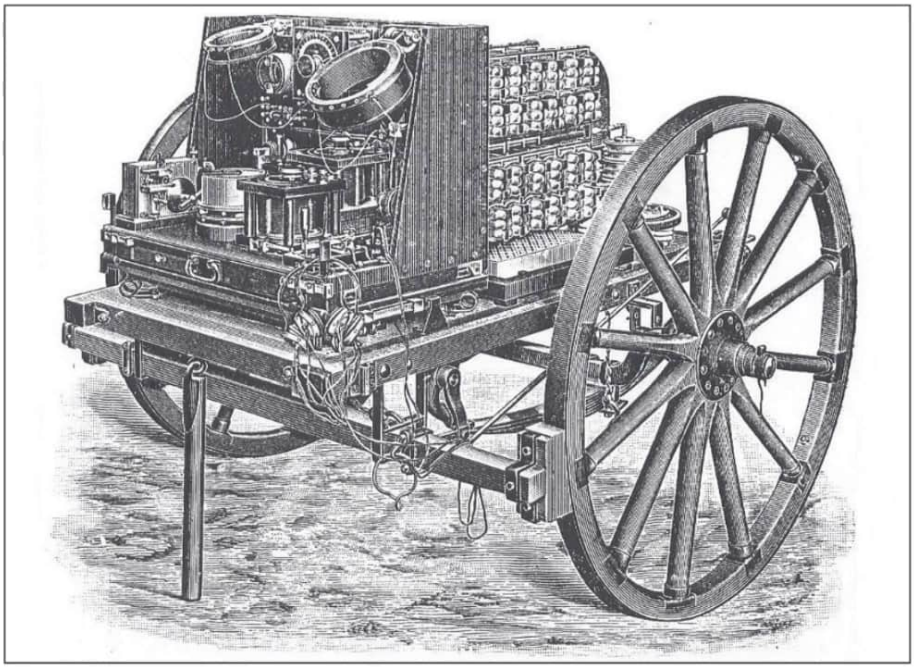
Egy magyar nyelvű irodalom [15] így emlékezik Slaby professzornak a Német Mérnökök Egyesületének gyűlésén, 1901-ben tartott előadásáról: *„Ha már mindannyian elmúltunk, amikor a vörösrézhuzalok, a guttapercha szigetelések és vasszalagok már csak múzeumi tárgyak lesznek, akkor eljön majd az a nap, amelyen utódunk, aki barátjával óhajt beszélni, de akinek hollétét nem tudja, villamos hanggal fogja őt hívni, és ezt a hangot csak az fogja meghallani, aki ugyanolyan rezgésű elektromos füllel fog rendelkezni, mint a hívó. És a hívott jelentkezni fog a bánya mélyéről, az Andesek csúcsáról, vagy az óceán túlról, avagy pedig ha nem jelentkezik, tudni fogja a hívó, hogy barátja már nincs az élők között."* Ez a beszéd akkor hangzott el, amikor felfedezték az adó és a vevő hangolásának szükségességét.

A század elején gyors fejlődés indult mind a különféle rendszerű távíróállomások hatótávolságának növelésében, mind a felhasználási területek bővülésében. Komoly eredményeket értek el az elektromágneses hullámok terjedési viszonyainak és a különféle légköri zavarok vizsgálatában. Az adóknál kezdték használni az irányított sugárzású, a vevőknél a keretantennát, amely kis jelei miatt csak a nagyfrekvenciás elektroncsöves erősítők mellet volt használható.

A szikratávírókat legszélesebb körben a tengeren alkalmazták. A hajók kaphattak utasításokat, jelentéseket az időjárásról, adhattak információt a saját útjukól, és kérhettek segítséget veszély esetén. Első időben ugyan a konkurens társaságok készülékei egymással nem érintkezhettek, de ez helyzet a londoni konferencia után (1912) megváltozott. A másik a haditechnikai felhasználás, amelynek jelentőségét nem kell magyarázni, mert a kábeles összeköttetést szét lehet rombolni, az elektromágneses hullámoknál csak a titkosságra kellett ügyelni. Kezdetben ezt úgy oldották meg, hogy az adó és a vevő frekvenciáját előre rögzített időpontokban megváltoztatták, az információt kódolták, később a gyorstávírók idejében már csak az azonos rendszerű vevővel lehetett az információt olvasni.

Az első világháború kitörésekor Németország már az összes tengeri hajóit tudta értesíteni. Ekkor építették a mozgó tábori berendezéseket (**9. ábra**). Érdekes felhasználási példák a sarki expedíciók, a repülőgépek és a léghajók felszerelése szikratávíróval.

A csillapítatlan hullámokat előállító nagyfrekvenciás generátorok lehetővé tették a nagy teljesítményű távíróadók átkapcsolását fónia üzemre, amíg az elektroncsöves adók teljesítménye kicsi volt. Így épült ki Németországban a rádió-hírmondó hálózat, a magyar telefonhírmondó mintájára. Ez kezdetben csak politikai és sporthíreket, tőzsdei információt közölt naponta meghatározott időpontokban, ezért beszélő újságnak és drótnélküli telefonnak is nevezték. Talán ezzel függött össze, hogy a korai rádiós irodalomban [16] nálunk a broadcasting helyett a rádiótelefon kifejezést próbálták bevezetni, ami ma már mást jelent. Végül a *Lechner Ödön* által



9. ábra

is alkalmazott *rádió* győzött [8], amely egyaránt jelent távíró és fónia üzemet. A rádiót is próbálták a harmincas években magyarítani, és a zongora mintájára a „hangora" szót alkották, ami – szerencsére – egyáltalán nem honosodott meg.

7. A drótnélküli telegráfia hazai fejlődése

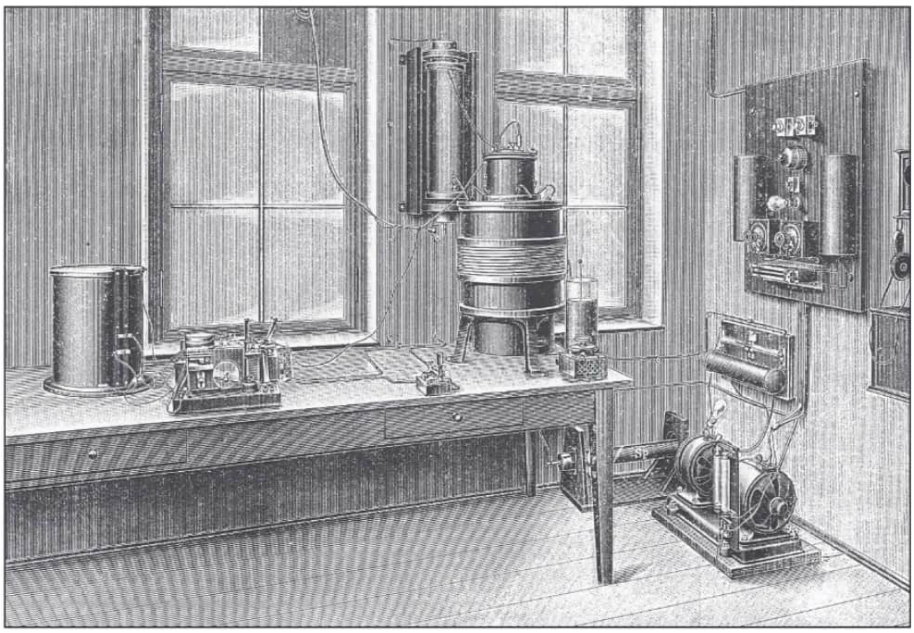
Sajnos az első világháborút megelőző időszakról nagyon kevés magyar forrás és visszaemlékezés található, pedig tudjuk, hogy voltak amatőrszintű kísérletek nálunk is, miután híre ment Marconi sikereinek. A korabeli magyar irodalom [5], [6] is csak német nyelvű anyagok fordítására szorítkozik.

Az első berlini, ún. előkészítő rádiókonferencián részt vevő magyar küldöttség hozott magával egy szikraadót és egy kohérerrel működő vevőberendezést. Az első kísérleteket Csepel és Újpest között, a Weiss Manfréd gyár és az Egyesült Izzó kéményeire szerelt antennákkal végezték. A villamosvasút közelsége ugyan zavarta a vételt, de amikor lekapcsolták annak feszültségét, létrejött a kapcsolat. A katonai körök érdeklődését felkeltvén, most már Budapest és Bécs között folytak eredményes kísérletek, majd 1904-ben az Adrián folytatódtak. A parti állomás Fiumében, a vevő az *Előre* nevű gőzösön volt elhelyezve, és már elektrolitikus detektorral működött. Az adót is folyamatosan modernizálták, hazai gyártású alkatrészeket építettek be. A következő lépés már a csepeli szikratávíró állomás megépítése, amelynek történetéről külön cikk számol be.

Már újabb történet, hogy az Egyesült Izzólámpagyár 1917-ben kezdte meg az elektroncsövek előállításához szükséges kísérleteket, és az első csöveket telefon erősítők céljaira használták fel. Ugyanezen, még wolframkatódú csövekkel építette a budapesti telefongyár az első katonai készülékét a KLERA-t, amely szó a német Kleinradio rövidítése [17]. A háború befejezése utáni hazai rádiózás története már – szerencsére – eléggé dokumentált, és fotók is maradtak fenn ebből az időszakból.

Hogy olvasóinknak elképzelésük legyen arról, hogy milyen volt a század elején egy szikratávíró állomás, bemutatunk egy korabeli könyvből [18] egy tábori, mobil és egy stabil állomás képét. Az 1910-ben kiadott könyv már beszámol a drótnélküli telefonnal történt kísérletekről, egy későbbi (1921), azonos című német könyv pedig már ismerteti az elektroncsöves berendezéseket is [19].

A **9. ábrán** látható tábori állomást a német hadsereg alkalmazta az első világháborút megelőző időszakban. Hatótávolsága – a terepviszonyoktól függően – kb. 250 km volt. Egy teljes állomás négy kétkerekű kocsira volt szerelve. A szállításnál páronként négykerekű fogattá kapcsolták ezeket össze, és lovakkal vitették tovább. Az elsõ fogat a szerszámkocsit és a telegráfállomást, a második az antennát és az áramfejlesztő generátort szállította. A motor négy lóerős benzinmotor volt, ami egy 110 V-os váltóáramú generátort hajtott. Ez táplálta az induktort, amelyet nem látunk az ábrán. Látható viszont a 72 db leideni palack, összes kapacitása 20 000 cm (közel 20 nF) és a keréktől félig takarva a szikraköz. A szintén takart rezgőköri tekercs segítségével az adó hullámhosszát 200 m és 1200 m között lehetett állítani. Az előtérben látható a vevő, amely mind kohérerrel, mind elektrolitos cellával fel volt szerelve. A kocsi felénk eső sarkán vannak a fejhallgatók felakasztva. Az antenna (légvezeték) hossza 250 m volt és léggömb emelte a magasba. Létezett ennél kisebb készülék is, amelyet – szobakerékpár módjára – lábbal hajtott áramforrással tápláltak.



10. ábra

A **10. ábrán** egy kisebb hatósugarú (kb. 200 km) Telefunken állomást látunk ugyanebből az időből. Jobbra a földön van a váltakozó áramú generátor, amelyet egy motorral hajtottak. Ennek fordulatszámát a jobb oldali falon levő kapcsolótábla elemeivel lehetett szabályozni. Az induktor a két ablak közötti falra van szerelve, előtte áll a rezgőköri tekercs. tőle balra van a morzebillentyű, jobbra az antenna hangolására szolgáló leideni palack. Az asztal bal oldalán helyezkedik el a kohéreres vevő, amely az adóval közös antennát használ. A vevőtől balra áll a rezgőköri tekercs, amely a vevő hangolására szolgál. Ebben az időben már csak kényelmi szempontból építették be a kohérert, mert a csöngő jelezte a vétel kezdetét. A később alkalmazott detektoroknál külön „felhívó" eszközt kellett erre a célra alkalmazni.

8. Összegzés

Ezt az összeállítást kedves barátommal és kollégámmal, *Hrabál Lászlóval HA5 ATZ*-vel együtt írtuk, aki időközben eltávozott körünkből. Az irodalomjegyzékben még nem szerepelhetett *Balás B. Dénes* 2009-ben megjelent műve: *A Távírótól a rádióig.* Mindenkinek ajánlom, akit részletesebben is érdekel ez a téma, mert ez a legátfogóbb, hozzáférhető könyv erről az időszakról.

Végül, a szerkesztő javaslatára egy kevesek által ismert feltaláló munkásságáról feltétlenül érdemes szót ejteni. Ő *Mahlon Loomis* amerikai fogorvos (1826–1886). Nemcsak egy nagy műgonddal kivitelezett porcelán műfogsort szabadalmaztatott, de feltételezte a vezetőképes koncentrikus légrétegeket (!), felhasználhatónak vélte az ezekben rejlő energiát. Jelen írás szempontjából a legfontosabb, hogy ezek közvetítésével képzelte el a vezeték nélküli hírközlést. Az első „légi jeltovábbító rendszerre" vonatkozó elképzelését 1866-ban tette közzé, és még abban az évben sikeresen továbbított *rádiójeleket* 30 km-es távolságba (bár ennek fizikai hátteréről fogalma sem lehetett). Akkor, amikor Popov csak 7 éves volt, Marconi pedig meg sem született…

Loomis munkásságáról a neten rengeteg részletes információ megtalálható. Röviden a *Rádiótechnika 1995/4. számának 185. oldalán* cikkeztünk róla.

9. Elavult szakkifejezések gyűjteménye

Ebben a fejezetben a korabeli szakirodalomban talált, ma már nem mindenki által érthető kifejezések magyarázatát adjuk.

Alternátor: váltóáramú generátor.
Antennapótló: minden, nem antennaként megépített, de annak használt vezető (fűtőtest, ágysodrony, villanyantenna) megnevezése.
Braun-féle cső: olyan katódsugárcső, amelynél csak a függőleges eltérítést végzi tekercs, a rezgés képét forgó tükörrel kell nézni.
Broadcasting: általános értelembe vett rádió-műsorszórás
Éterrezgések: eleinte úgy képzelték, hogy az elektromágneses hullámok továbbításához is szükség van egy közvetítő közegre, mint a levegőre a hanghullámok esetében. Ez volt az éter, az éterrezgés pedig a hullámok tovaterjedése.
Feladó: az adó korai megnevezése
Felhívó eszközök: érzékeny jelzők a kohérert követő időből, amelyek figyelmeztették a vevő kezelőjét az adás megkezdésére (többnyire tükrös galvanométerek).
Felvevő: a vevőkészülék korai megnevezése
Gehrke-féle cső: ködfénylámpa a nagyfrekvenciás jelek forgótükörrel történő vizsgálatára
Geissler-féle cső: légritkított cső nagyfeszültségű elektródákkal, nagy szerepe volt a katódsugarak (elektronok) és a röntgensugarak felfedezésében
Gépadó: olyan adókészülék, amelyben az elektromágneses rezgéseket forgógép állítja elő
Hangosanbeszélő: a hangszóró idegen nyelvből fordított (Lautsprecher) megnevezése
Hullámjelző: detektor
Jigger: Marconi nagyfrekvenciás transzformátora
Kapcsolás: a csatolás helyett használták a tekercsek esetében
Katódlámpa adó: elektroncsöves adóberendezés
Keretantenna: a ferritantenna elődje, nagy felületű tekercs, amelynek érzékenységi maximuma van az antenna síkjának irányából érkező hullámokra
Lámpa: a tényleges fényforrás mellett használatos kifejezés a lámpából kifejlődött, egykor jelentős fényt is szolgáltató elektroncsőre
Légdrót: az antenna magyarított változata
Leideni palack: poháralakú, üvegszigetelésű kondenzátor
Ráhangzás: rezonancia, hangolás
Oszcillátor: a rezgőkör neve a szikratávírás korában
Sűrítő: a kondenzátor régies alakja
Sziporkázás: korona- és csúcskisülés megnevezése az antennáknál és a nagyfeszültségű kondenzátoroknál
Telefon: a fejhallgató régies alakja
Telefon relé: alacsonyfrekvenciás erősítő az elektroncső előtti időből. Több mágneses szaggatóból és telepből állt
Tikker: szaggató a csillapítatlan jelek hallhatóvá tételéhez

Irodalomjegyzék:

1. G. Marconi: Visszapillantás a rádió elmúlt 30 évére; Rádió Amatőr, 1927. január
2. A rádió felfedezésének 40 éves jubileumához; Rádió Technika, 1936. november
3. Alexandr Sztyepanovics Popov; Rádiótechnika, 1951. november
4. Forbáth László: A rádió története; Rádió Amatőr, 1930. június
5. Peremartoni Nagy Lajos: Drótnélküli telegráfia; Németh József kiadó, 1915.
6. A. Slaby: A szikratávíró; Átdolgozta: Kreuzer Géza; Franklin Társulat kiad., 1917.
7. Mende Jenő: A drótnélküli telegráfia; Dick Manó kiadása, 1921.
8. H. Günther: A rádió diadalútja (ford. Lechner Ödön); Pallasz kiadás, 1924.
9. J. Zennek; H. Rukop: Lehrbuch der drahtlosen Telegraphie; Stuttgart, 1925.
10. B. L. Jacot, D.M.B. Collier: Marconi az éter varázslója; Singer és Wolfner kiadása
11. F. R. Paturi: A technika krónikája; Officina Nova kiadása, 1991.
12. Borbás István – Katona Zoltán: Nevek-évszámok; Rádiótechnika Évkönyve, 1972.
13. Stefenik Pál: A rádió úttörői; Rádiótechnika Évkönyve, 1972.
14. A tízéves Magyar Rádió (1925 – 1935); Ajtósi Dürer reprint kiadás, 1995.
15. Magyar Rádió Évkönyv I. évf.; Szerkeszti: Szepessy Árpád, 1929.
16. Molnár János: A rádiótelefon elméleti és gyakorlati ismertetése; Műszaki Könyvkiadó és Sokszorosító Intézet, 1924
17. A Tungsram R.T. története 1896 –1945; Budapest 1987.
18. Zemplén Győző: Az elektromosság és gyakorlati alkalmazása; K. M. Természettudományi Társulat kiadása, 1910.
19. L. Graetz: Die Elektrizität und ihre Anwendungen; Stuttgart, 1921.
20. Dr. Fábián Tibor: A tam-tamtól a vezetékes telefonig; Rádiótechnika Évkönyve, 2018.

Táblázat

A drótnélküli telegráfiával kapcsolatos találmányok és események		
Dátum	**Név**	**Találmány vagy esemény**
1831	Faraday (angol)	Indukció
1840	Morse (amerikai)	Morse-féle ábécé és távírógép
1850	Ruhmkorff (német)	Szikrainduktor
1857	Feddersen (dán)	Forgó tükörrel kimutatja az oszcilláló kisülést
1865	Maxwell (angol)	Elektromágneses fényelmélet; Maxwell-egyenletek
1874	Braun (német)	Kristálydetektor
1876	Edison (amerikai)	Első használható szénmikrofon
	Bell (skót)	Telefon (vitatott*)
1887	Hertz (német)	Kísérletek elektromágneses hullámokkal
1890	Branly (francia)	Kohéher
1893	Righi (olasz)	Erős szikrák gerjesztése
1894	Lodge (angol)	Tökéletesíti a kohérert
1895	Popov (orosz)	viharjelző, antenna
1896	Marconi (olasz)	Első szabadalma a szikratávíróra
1897		Angliai kísérletei
1898	Slaby (német)	Adó és vevő rezonanciája
1899	Arco (német)	Hullámmérő
	Duddel (ír)	Csillapítatlan hullámok keltése ívlámpával
1900	Braun (német)	Kevéssé csillapított rezgések keltése
1901	Köpsel (német)	Forgókondenzátor
1902	Schlömilch (német)	Elektrolitikus detektor
	Poulsen (Dán)	Gyakorlatban használható ívfényadó
	Tesla (horvát)	Nagyfrekvenciás váltakozó áramú generátor
	Fessenden (kanadai)	250 W/60 kHz-es generátor
1903	–	Megalakul a Telefunken társaság
	–	Berlinben összeül az első (előkészítő) konferencia
1906	Wien (német)	Lökésszerű indítás módszere
	–	A neueni nagyadó üzembe állítása
	–	A második berlini rádiókonferencia
1907	Arco (német)	Zenei hangzású kioltott szikraköz
1908	Alexanderson (svéd)	100 kHz-es generátor
	Goldschmidt (német)	Frekvenciasokszorozás a gépen belül
	Zennek (német)	Frekvenciasokszorozás a gépen kívül
1912	–	A neueni állomás 100 kW antennateljesítménnyel sugároz
1913	–	A harmadik rádiókonferencia Londonban
	Braun (német)	Eredményes kísérletek keretantennával
1914–1919	–	Katonai elektroncsöves adók és vevők

Csöves és tranzisztoros hangerősítők

John Linsley Hood

könyvét nem lehet csak egyszerűen elolvasni, annak ott kell lennie a könyvespolcon, hogy bármikor kézbe vehessük „Ebben a könyvben az utóbbi 50 évben kifejlesztett hangerősítő konstrukciókat tekintettem át abban a reményben, hogy az itt található információ hasznos lehet a felhasználóknak vagy a potenciális tervezőknek." – írja a szerző.
A 244 oldalas, B5 méretű könyv ára: 3950 Ft (+ postaköltség).

Audiofil erősítők építése

Ágoston Lajos

könyvében a külföldi szakirodalmakból ismert, jól bevált és általa is utánépített, együtemű és ellenütemű, csöves, illetve tranzisztoros hangerősítők építési leírásait adja közre, több áramkörnél nyomtatási-rajzzal. A 228 oldalas B5 méretű könyvhöz CD-melléklet is tartozik. Ára: 4490 Ft (+ postaköltség).

Audiofil erősítők építése 2.

Előerősítők, Fejhallgató erősítők

Ágoston Lajos

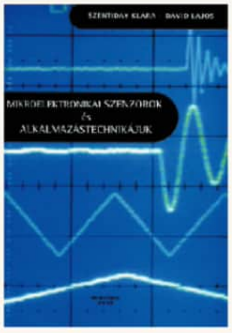
ezen újabb könyvében az első kötethez hasonlóan megépített és jól bevált áramköröket ismertet, nyomtatási rajzokkal és fotókkal illusztrált gyakorlati megközelítésben. A kötet főbb tématerületei: Jelkondicionálók, előerősítők; Csöves és félvezetős RIAA-korrektorok; Csöves és félvezetős fejhallgató erősítők; Néhány fejhallgató márka. A 206 oldalas, B5 méretű könyv ára: 4950 Ft (+ postaköltség).

PIC mikrovezérlők alkalmazástechnikája

PIC programozás C nyelven

Dr. Kónya László – Kopják József

„A harmadik kiadásban nem kevesebbre vállalkozunk, mint az olvasó számára kellő támaszt adni a hatalmassá bővülő PIC paletta használatához. ... A magas szintű programozási nyelvek használatát ma már nem lehet megkerülni, emiatt kiemelt hangsúlyt fektettünk a C programozási nyelvet elsajátítani szándékozó olvasók igényének kielégítésére." A 400 oldalas B5 méretű könyvhöz CD melléklet is jár. Ára: 4900 Ft (+ postaköltség).

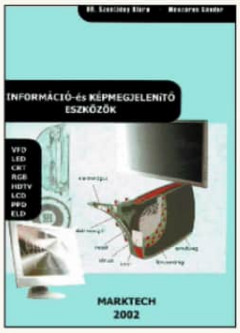


Mikroelektronikai szenzorok és alkalmazástechnikájuk

Szentiday Klára – Dávid Lajos

könyvével megkönnyíti a szenzorfajták áttekintését és a kívánt célnak legmegfelelőbb diszkrét vagy integrált szenzortípus kiválasztását. „... a könyvet ajánljuk mindazoknak a mérnököknek, technikusoknak vagy műszaki menedzsereknek, akik a szenzorok gyártás-fejlesztésével vagy gyártástechnológiájával kívánnak foglalkozni, ..."
A 206 oldalas, B5 méretű könyv ára: 2950 Ft (+ postaköltség).

Információ- és képmegjelenítő eszközök



Szentiday Klára – Mészáros Sándor

„Könyvünk a kép- és információ-megjelenítők legkorszerűbb típusaival ... az – elektronsugárcsöves, – folyadékkristályos, – LED, – vákuumfluoreszcens, – plazmapanel és elektrolumineszcens működési elvű megoldásokkal foglalkozik." – írják a szerzők a kötet Bevezetőjében.
A 346 oldalas, B5 méretű könyv ára: 2950 Ft (+ postaköltség).

Mikrohullámú technika

S. R. Pennock – P. R. Shepherd

a napjainkban egyre nagyobb és fontosabb szerepet játszó, 1..100 GHz közötti frekvenciatartomány technikáját ismerteti művében. „A mikrohullámú technikával kapcsolatos szakszövegek többnyire két szélsőséget képviselnek: vagy túl szakmaiak, ... a szövegek másik fajtája ... túl általános, így nem elég részletes. Nyilvánvaló szükség volt tehát egy megfelelő széleskörű bevezető könyvre a nagyfrekvenciás és a mikrohullámú technikába, amely kielégítő mélységű a különböző témákban." – írják a szerzők. A 350 oldalas, B5 méretű könyv ára: 4250 Ft (+ postaköltség).

A könyvek megvásárolhatók, ill. utánvéttel megrendelhetők a HAM-bazártól.
Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em., H-P. 09 –14, Cs. 09–17 ó.
hambazar@radiovilag.hu (36 1) 239-4932/36 239-4933/36 www.radiovilag.hu 5

Ívfényadók

Balás B. Dénes távközlési technikus, HA8BDE

Az első elektromos ívlámpakísérletet Humprey Davy végezte 1808-ban, galvánelem sarkait összekötve két szénpálcával. A két szénrúd között vakító fehér fényű elektromos ív keletkezett, mely azonban a szénpálcák gyors égése következtében hamar kialudt. Az elektromos ív hasznosításához szükség lett tartósabb (préselt szénporból készült) szénpálcákra, és egy mechanikus szerkezetre a szénpálcák mozgatásához. Ugyanis az ívhúzáshoz a két szénpálcát először össze kell érinteni, majd kis távolságra, 5-10 mm-re széthúzni. Az így „begyújtott" ív lassan elégette a szeneket, egyre nőtt a távolság a két szénpálca között, időről-időre szabályozni kellett a két szénpálca helyzetét, vagyis az optimális távolságra kellett közelíteni azokat. (Szerző 1961-ben még kezelt olyan ívlámpás vetítőgépet, ahol kézzel kellett a szénösszehúzó csavart mozgatni.)

Amikor a XIX. század végére közvilágítás céljára tovább fejlesztették az ívlámpákat, megoldották a szénpálcák automatikus összehúzását **(1. kép).**

W. Duddel ír fizikus 1899-ben rájött, hogy nemcsak a szikrainduktor szikráitól, hanem a szénpálcák között égő elektromos ívtől is keletkeznek elektromos (elektromágneses) hullámok, melyeket ugyanúgy lehet hangolni egy rezgőkör segítségével, mint a hagyományos szikratávíró által keltett elektromos hullámokat. Kísérletei közben kondenzátort és tekercset kapcsolt az ívlámpával párhuzamosan, és ezek változtatásával tíz- és harmincezer hertz között „hangolta" az ívet.

A rezgőkör önfrekvenciája szerint az ív, rezgésbe hozta a körülötte lévő levegőt és az ív „zenélt", vagyis felvette azt a hangrezgést, amelyre Duddel a rezgőkört beállította. Az így előállított elektromos hullámok nem csillapodtak, hanem amplitúdójuk állandó maradt. A jelenség „zenélő ív"-ként lett ismert a fizikában.

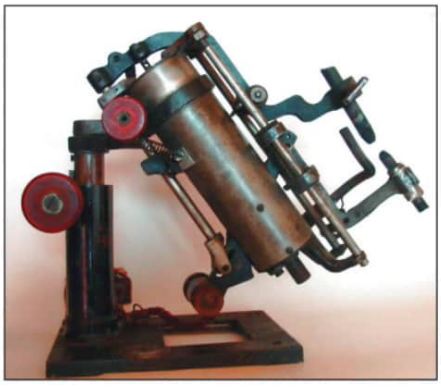
Duddel kísérlete olyan időszakban lett híres, amikor már nyilvánvaló volt, hogy a szikratávírót széles körben lehet alkalmazni, ugyanakkor a gyermek-betegségekben szenvedő, hátrányos tulajdonságokkal rendelkező szikraadók helyett a felhasználók alkalmasabb berendezések kifejlesztését igényelték. Ebben az időszakban érdemes volt a fejlesztéssel foglalkozni, mert egy-egy jól sikerült találmány szabadalma dollár-ezreket jövedelmezett a feltalálónak.

Duddel ötletére alapozva, a zenélő ívet tökéletesítve, *Waldemar Poulsen* dán mérnök **(2. kép)** kísérletei kifejezetten arra irányultak, hogy az ívlámpával nagyteljesítményű szikra-távírót hozzon létre. Az ívlámpán több lényeges módosítást hajtott végre, és sikerült használható nagyfrekvenciás generátort készítenie. Az ívfény-adóra 1902-ben kapott szabadalmat Dániában, majd még további tizenhárom országban. *Mivel az ívet már nem világítás céljára használta, a továbbiakban ívfény-adó elnevezést használjuk, jellemzően a német szakirodalomban is a „Lichtbogensender" megnevezés található.*

Rendszere a bemutatókat követően meglehetősen széles körben elterjedt, s mivel folytonos (csillapítatlan) hullámokat bocsátott ki, 1904-től más kutatók (pl. Ruhmer, Nussbaumer, Majorana) hangátviteli kísérletekre is felhasználták.

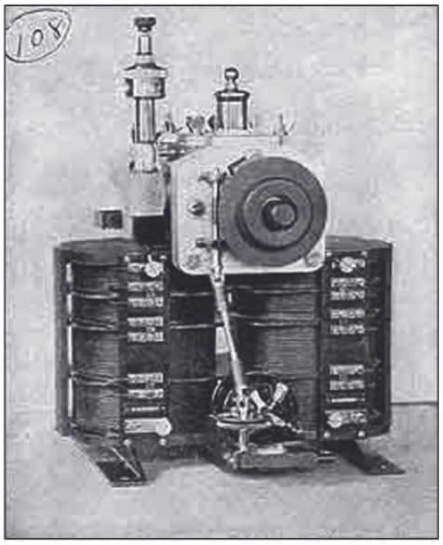
Az első Poulsen-adók

Poulsen 1903-ban olyan különleges ívfénygenerátorokat szerkesztett, melyek a szokásosnál sokkal nagyobb áramerősséggel működtek, és elegendő energiát szolgáltattak egy rádiótávíró állomás részére. Az elektromos ívet erős mágnes-térben, különleges elektródok között hozta létre **(3. kép)**.

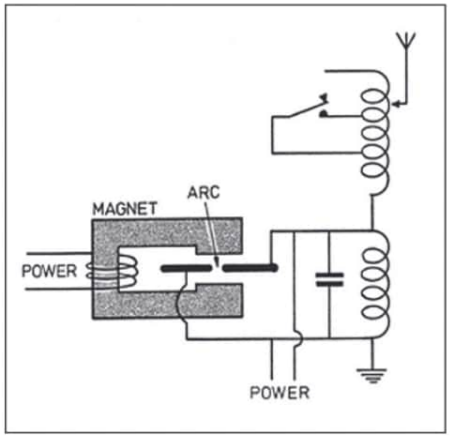


1. kép. Ívlámpa, mágneses szabályozóval. (A szerző tulajdonában)

2. kép. Poulsen és Pedersen



3. kép. A Poulsen-adók lelke, a mágnes és az ívkamra (3 kW)



4. kép. A billentyűzés megoldása

A mágneses teret elektromágnesekkel állította elő, amit maga az íven átfolyó egyenáram gerjesztett. Az anód, vízzel hűtött rézcső volt, a szenet egy mechanika lassan forgatta. Az ívkamrában, mely a nagyteljesítményű mágnes tetejére épült, szénhidrogén gőz jelenlétében égette az ívet, ezt úgy érte el, hogy az ív környékére alkoholt vagy petróleumot csepegtetett. Másodpercenként 1-2 csepp alkohol 1 kW-os ívhez volt elegendő. Első készülékében a rezgőkört úgy méretezte, hogy 240 000 rezgésszámú csillapítatlan elektromágneses rezgések keletkeztek. Állomását Lyngbyben építette fel, 37 méter magas antennával.

A szikraadóktól eltérően az ívfényoszcillátornál elmaradt a szikraadók kísérő jelensége, a közeli vevőkészülékeket zavaró mellékhullámok tömege, és a kapott rezgések pontosan tartották a frekvenciájukat. Az antennát sokkal kisebb feszültséggel táplálták, ezért a nagyobb szikraadóknál szokásos és veszteséget okozó szikrapamacsok elmaradtak az antennáról. *Rausch* vizsgálatai szerint 9000 W betáplált energiából maguk az ívek csak 1700 wattot használtak fel, ez 19%-os hatásfokot jelentett.

Az ívfényadóknál több technikai probléma is jelentkezett, ezek közül hármat emelünk ki: a frekvenciahatárt, a billentyűzést és a hang utáni vétel megoldását.

Az ívlámpaadókkal elérhető legalacsonyabb hullámhossz 1000 m-nek mutatkozott, ennél kisebb hullámhosszat nem ért el senki. Ez a hullámhossz 300 000 Hz-nek felel meg, a berendezés csak a hosszúhullámokon volt használható, ott viszont aránylag biztonságosan.

Az ívfényadókat azonban nem lehetett úgy billentyűzni, mint a szikraadókat, mert a megszakított tápáram kioltotta volna az ívet, melynek újragyújtása korántsem volt egyszerű. Ezért Poulsen munkatársa, Pedersen úgy oldotta meg a billentyűzést, hogy a rezgőkörre kapcsolt egy tekercset. Ez elhangolta a frekvenciát és lényegében egy frekvencia-eltolásos billentyűzést hozott létre azzal, hogy a billentyűző relével ezt a tekercset ki-be kapcsolgatta **(4. kép)**.

A harmadik probléma az volt, hogy a Poulsen-adók csillapítatlan (folyamatos) hullámai, a detektoros vevőkészülékekben nem alakultak át hallható hangokká. A kohéreres vevők működtek, de a detektoros vevők telefonhallgatóiban nem lehetett hallani semmit. Poulsen 1904-ben, egy „tikker" nevű kis kiegészítő szerkezetet konstruált, mely hallhatóvá tette a jeleket. Először a tikkert és a detektort együtt alkalmazta, majd készített olyan kapcsolást, ahol a detektort teljesen elhagyta és csak a tikker maradt az áramkörben.

Később a Lorenz, a Huth és a Berliner cégek is készítettek tikkereket, utóbbiak a Lorenz-rendszer szerint. Az Egyesült Államokban Fessenden egy helyi ívlámpa rezgéseit keverte a vevőkészüléken fogott csillapítatlan hullámú adó jeleihez, így tette hallhatóvá azokat.

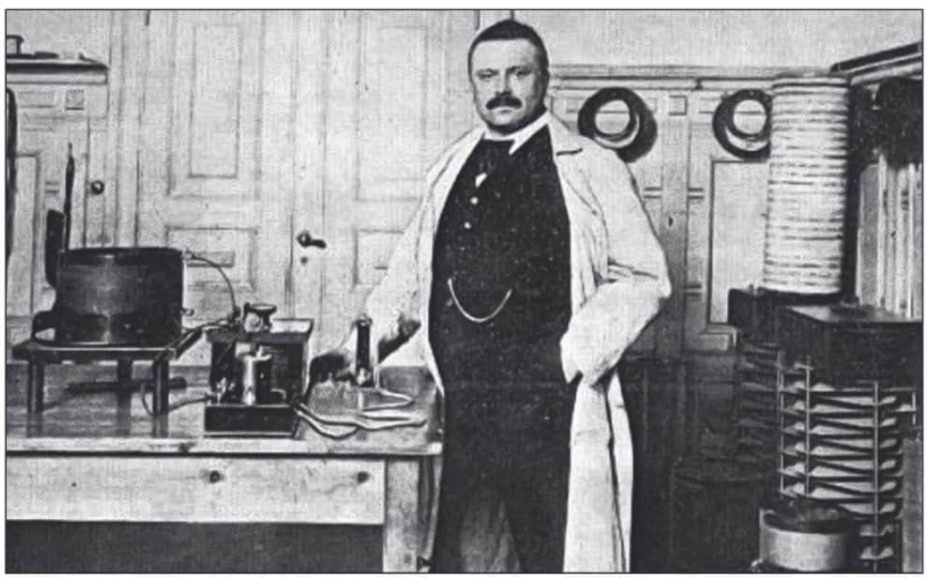
Első kísérletei után 1904-ben, Poulsen Kopenhágai laboratóriuma és Lyngby között csak pár kilométert tudtak áthidalni, két évvel később viszont Lyngby és Esbjerg között, Dánián keresztül, már 270 kilométer távolságra táviratoztak **(5. kép)**.

A Koppenhága mellett, Lyngbyben létesített állomást 1906-ban bővíteni kezdték. A bővítés után, a 6 kW-os ívet 500 V-ról egyenárammal egy 10 kW-os dinamó táplálta, melyet 20 Le-s (15 kW) gázolajmotor hajtott. Az antennát 70 méter magasra növelték, a két árboc 90 méterre állt egymástól. Az első próbáknál 1907-ben, 1200 m-es hullámhosszon, könnyedén elérték a 2500 kilométer távolságot és (főleg hajókkal) állandó összeköttetést tudtak biztosítani.

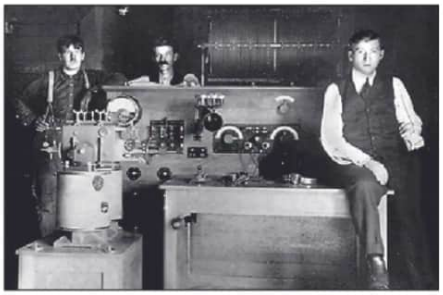
Mivel Dánia jól kiépített telefon- és távíróhálózattal rendelkezett, belföldi érdeklődés Poulsen ívfényadójára nem jelentkezett. Poulsen és társa Pedersen, kénytelen volt külföldi felhasználókat keresni. Poulsen rendszerét 1909-ben átvitték az Egyesült Államokba, ahol a kémiai technológiából átvett módszerrel tovább fejlesztették, Európában pedig német cégek vették meg a szabadalmakat és jelentős mennyiségű készüléket gyártottak.

Poulsen-adók az Egyesült Államokban

1906-1907-ben *Lee de Forest* mérnök, ívfényadóból kiindulva egy telefonadót szerkesztett, melyet gyakorlatban az Írtavon mutatott be, egy vitorlásverse-



5. kép. Poulsen mérnök, a vezeték nélküli telefonjával



6. kép. Elwell és segítői 1910-ben

nyen. Később keresztülvitte, hogy az US Navy harminc darab ilyen készüléket vásároljon tőle. (Lee de Forestnek saját szikratávíró vállalata volt.)

A Navy híradótisztjei azonban nem támogatták ennek a készüléknek a használatát, nyilvánvalóan számos kezdeti hiányossága miatt. A Poulsen rendszer első alkalmazása az Egyesült Államokban megbukott.

A Stanford Egyetem tanárai és néhány mérnökhallgató figyelemmel kísérték a szikratávíró technikai fejlődését és különösen érdekesnek találták a Poulsen-rendszert. Egy *Cyril Frank Elwell* nevű frissen végzett mérnök 1909-ben átutazott Európába, és néhány hónapig Poulsen mellett dolgozott, hogy alaposan megismerje az ívfényadók technikáját. Visszatérése előtt szerződést kötött Poulsennel, hogy az Egyesült Államokban kizárólagos joggal forgalmazhat Poulsen-féle berendezéseket. Poulsen egy érdekes kikötést is tett: Elwell nem társulhat meglévő (vezetékes) távírótársaságokhoz, mert attól tartott, hogy megveszik és mellőzik a találmányát. Poulsen képviseletében Elwell nem csak megszerezte az USA-beli szabadalmakat, hanem megvásárolt és az Egyesült Államokba hozott egy kicsiny, mindössze 100 W-os, Poulsen által készített ívfényadót, melyikkel gyakorlati bemutatókat tartott.

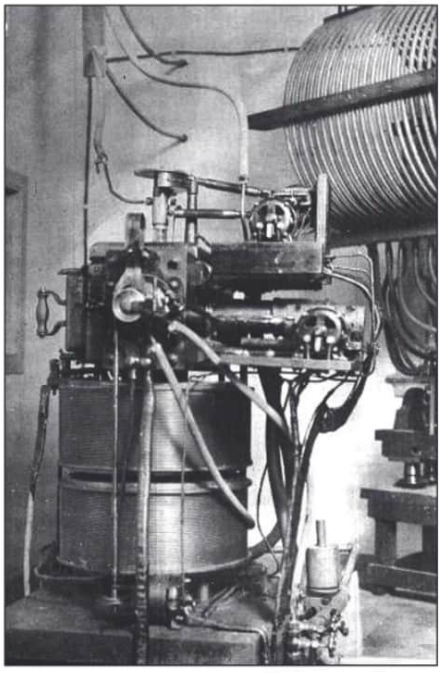
Hamarosan talált társakat és a Stanford-egyetemi kollégákat bevonva, 1909-ben céget alapítottak: Poulsen Wireless Telephon and Telegraph Company néven **(6. kép)**. A bemutatók és a társak elegendő pénzt hoztak ahhoz, hogy két darab 5 kW-os ívfényadót vásároljanak Kopenhágából. Ezek felhasználásával felépítettek két rádiótávíró állomást Sacramentoban és Stocktonban.

Miután az első állomások megbízhatóan működtek, az állandó pénzhiány miatt Elwell társult egy Beach Thompson nevű pénzemberrel és 1910-ben új társaságot alapítottak „Poulsen Wireless Company of Arizona" néven. Ebből alakult a Federal Telegraph Company nevű társaság, melyben Thompson lett az elnök, Elwell a főmérnök.

Elwell elérkezettnek látta az időt, hogy a drágán beszerezhető dán készülékek helyett saját gyártmányokat állítsanak elő, és Palo Alto-ban telephelyet, gyártóműhelyt alakítottak ki, majd még 1910-ben, egy harmadik, már sajátgyártású rádióállomást építettek San Franciscónál. Ezt a (komolyabb) rádióállomásukat, a „Beach Station"-t, San Franciscoban a tengerparton építették 240×600 láb területen, másfél mérföldnyire délre a Golden Gate Parktól, egy kis blokkházban, amely felett 100 méter magas fatornyok tartották az antennát. 1912-ben, a Pacific Gas and Electric Magazine-ban megjelent ismertetés szerint, az épületben egy 12 kW és egy 30 kW-os Poulsen-generátor volt felállítva. Az egyik mindig tartalékban volt, egyszerre csak egy adó működött. (A 12 kW-os adó még 1910-ben elkészült, a másik, 30 kW-os adó a továbbfejlesztés eredménye lett.)

Az áramellátás a Pacific Gas And Electric Company 220 V-os hálózatáról volt megoldva, egy külön épületben felállított, két darab, 50 Le-s motorgenerátor gépcsoport segítségével, mely a 220 V váltakozó áramból 600 V egyenáramot állított elő. A vevőkészülékhez De Foresttől béreltek elektroncsöves erősítőt. Az antennahuzalt 21 000 láb hosszban, hét szálból font foszforbronz sodrony képezte. (Nem találtunk adatot az antenna tényleges hosszára, de 600 lábnál, azaz 200 méternél sokkal hosszabb nem lehetett, mert akkor az antenna a telephelyen kívülre került volna.)

Ugyancsak 1912-ben a Federal épített egy másik állomást is Dél San Francisco közelében, San Bruno Pointnál, két 440 láb (145 m) magas antennatoronnyal, 35 000 láb (11 550 m) hosszú antennahuzal felhasználásával. Az 1910 utáni két év lázas fejlesztési eredményeként 1912 végére a Federal



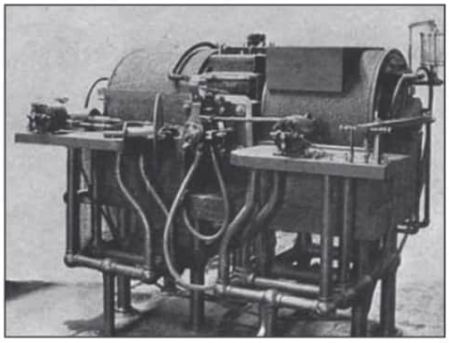
7. kép. 30 kW-os kísérleti ívfényadó

már 14 állomást épített és működtetett kereskedelmi alapon.

1912 őszén Elwell azzal a kéréssel fordult az US Navy illetékeseihez, hogy engedjék meg készülékeinek a bemutatását. Elwell egy 5 és 12 kW-os ívfényadóval tartott bemutatókat az US Navy-nél, majd 1912 novemberében engedélyt szerzett arra, hogy Arlingtonban ideiglenesen felszerelhesse 30 kW-os Poulsen-rendszerű ívfényadóját **(7. kép)**. Az engedélyt nem volt könnyű megkapnia, mert korábbi rossz tapasztalatok miatt, a Flotta Kísérleti Laboratóriumának szakemberei kitartóan ellenezték az ívfényadók alkalmazását.

Elwell 1912 decemberi és 1913 elején lefolytatott további kísérleteiben a Federal cég 30 kW-os ívfényadója jobbnak bizonyult az Arlingtoni állomáson telepített és háromszor nagyobb teljesítményű Fessenden-féle forgószikraadónál. Megtört a jég és Elwell cége megbízást kapott 100 kW-os ívfényadó szállítására, a Panama Csatorna Övezet, Darienben lévő rádióállomása részére **(8. kép)**.

1913-ban Elwell elhagyta a Federalt és helyére a fiatal *Leonard Fuller* mérnök került, aki döntő szerepet játszott a nagyteljesítményű ívadók gyakorlati fejlesztésében. A 100 kW-os ívadó, majd a még nagyobbak kifejlesztése már az ő érdeme volt.



8. kép. A Darien-i állomás 100 kW-os ívadója

Az I. világháború alatt számos csatahajó (és parti állomás) lett felszerelve Federal gyártmányú kisebb Poulsen-adókkal, többek között az USS George Washington is.

A Federal fejlesztései megcélozták a transzkontinentális távközlés lehetőségét is, amit az I. világháború alatt az US Navy messzemenően támogatott. Elsőnek Pearl Harborban létesítettek 500 kW-os ívfényadót, a Flotta és a Csendes-óceán feletti távíróforgalom részére, majd további öt ilyen berendezés készült; például kétszer 500 kW-os adót létesítettek Annapolisban, (MD) az Atlanti-óceán-i forgalom lebonyolítására **(9. kép).**

A 100 kW-osnál nagyobb ívadók megvalósításához azonban új technológiára volt szükség. 1902-ben a kémiai iparban, az Atmospheric Production Co. telephelyén, Niagara Fallsnál, két norvég, *Kristian Birkeland* fizikus és *Dr. Samuel Eyde* mérnök megoldotta a nagyteljesítményű, stabil elektromos ívek üzemeltetését, nitric-acid előállítása céljából. Fuller (és a Federal) ezt a technológiát vette át, léghűtéses ívkamra kialakítással, az 500 kW-os és még nagyobb ívadók gyártásához. Az adók ipari autoklávhoz hasonlítottak…

1917-ben New Londonban konferenciát tartottak a háborús távközlés helyzetéről és több fejlesztést határoztak el. A fejlesztések nagy részét a Federal kapta. Tevékenységére példa a Sayville-i Telefunken-rádióállomás, ahol 1918 elején leszerelték a régi szikraadót, valamint a gépadót, és a régi berendezésből az antennát az áramfejlesztővel meghagyva, egy 200 kW-os Federal ívadót építettek be. Tuckertonnál 100 kW-os ívadót állítottak fel.

Közvetlenül az I. világháború befejezését jelentő fegyverszünet megkötése előtt, a Federal két készlet 1 MW-os ívfényadót gyártott le. Az egyiket a franciaországi Bordeauxnál helyezték üzembe, míg a másik, a fegyverszünet kihirdetése után már nem lett üzembe állítva, végleg a gyárban maradt.

1918 júliusában a Navy megbízására terv készült egy Észak-Karolina-i rádióállomás létesítésére, 2000 kW-os Federal ikeradókkal. A terv nem valósult meg, a háború végén az építkezést leállították.

A Federal az I. világháború után visszakapta az Egyesült Államok kormányától összes szabadalmát, állomását, gyártelepét és 1920-23-ban még gyártotta az ívadókat. Kb. 1923-tól áttértek a korszerűbb berendezések gyártására, rádióállomásaikat pedig bekebelezte a Mackay társaság.

Ívfényadók Európában

Franciaország

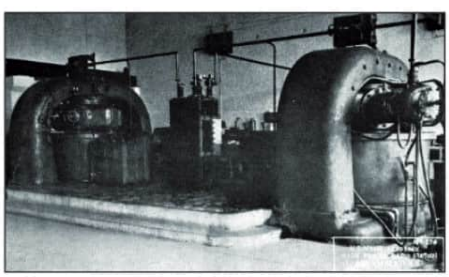
A párisi Eiffel-torony rádióállomáson 1917-ben állítottak üzembe egy 150 kW teljesítményű ívfényadót, a 8000 m-es hullámhosszon. 1924-ben még működő berendezésként említették a „Rádió-Röntgen" című magyar folyóiratban: „Van ezenkívül egy hatalmas Poulsen-adó, aminek működése esetén 60 Ampére-t mutat az antenna-körbe iktatott Ampére-mérő." Hasonló nagy ívadók működtek a Lyon-i és Nantes-i rádióállomásokon.

Az I. világháború idején, a Szövetségesek-Közötti Rádió Bizottság amerikai és francia tagjai között létrejött egyezménynek megfelelően, az Egyesült Államok Flottája vállalta, hogy az Atlanti-óceáni távközlés céljára nagy erejű adóállomásokat hoz létre az óceán két partján. A franciaországi állomás telephelyét Bordeaux környékén jelölték ki.

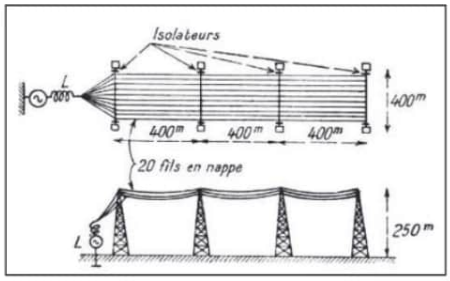
A Bordeaux-tól 14 mérföldre délnyugatra, Croix d'Hins-nél épült „Lafayette" rádióállomást 1918 elején tervezték, nyáron kezdték el építeni, majd a háború befejeződésével 1918 novemberében a munkálatokat megszakították. Az Egyesült Államok és Franciaország kormánya között új egyezmény jött létre, melyben a francia fél vállalta az állomás befejezését, az amerikaiak jórészt kivonultak a munkából. Addigra azonban az anyagok túlnyomó része, például a kettős építésű 1 MW-os adó, már a helyszínre volt szállítva. A befejezéshez elsősorban az antennatornyok felállítása hiányzott, s az US Navy szerződött a Pittsburgh-Des Moines Co. gyárral, akik gyorsan elvégezték a tornyok felállítását. A tornyok 250 méteres magassága akkor ritkaságnak számított, a világ legnagyobb tornyai voltak – az Eiffel-torony után!

A próbák és ellenőrzések után 1920. december 20-án hivatalosan is üzembe helyezték az állomást, néhány – a tengeren túlra küldött – tisztelgő távirattal. A táviratokat, az Egyesült Államok Annapolis-i állomása, mint a „Lafayette"-adó ellenállomása vette fel **(10-12. kép)**.

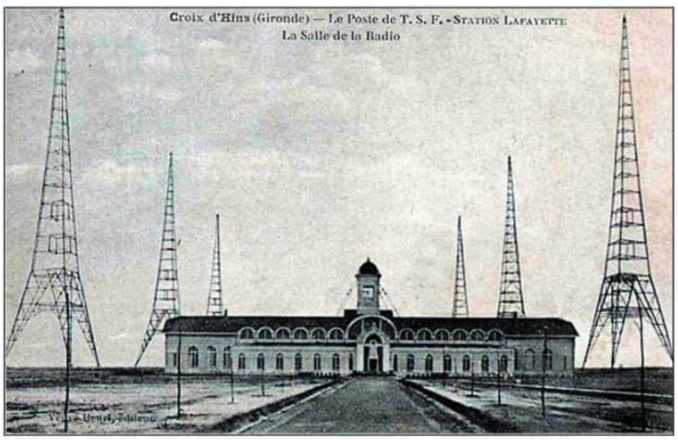
A Lafayette állomásra tehát két darab 1 MW-os Federal-adót építettek be, az egyik állandó tartalékot képezett, hogy hiba esetén azonnal rendelkezésre álljon egy hibátlan egység. Az 1 MW-os ívadó a hatalmas, 1200 méter hosszú és 400 méter széles antennára dolgozott, melyet nyolc darab 250 méter magas pilon tartott. Ezt az antennarendszert tört-antennának, Marconi-antennának és L-antennának is szokták nevezni, hasonló volt, mint a francia Sainte Assisei transzkontinentális antenna-



9. kép. 500 kW-os ívfényadók Annapolisban



10. kép. A Bordeaux-i állomás antennájának elvi vázlata



11. kép. A Bordeaux-i állomás

rendszer. Az állomás földelőrendszere is érdekes volt: 20 méter mélységben egy 100 m² területű (10×10 méteres) rézlemezt fektettek le, rézcsövekkel csatlakoztatva az adóhoz.

Az antennarendszert az adóval együtt Fuller, a Federal főmérnöke tervezte. A hatalmas kettős adóberendezés maga is tekintélyt parancsoló súllyal rendelkezett, nyolcvan tonnát nyomott. Ennek a súlynak legnagyobb részét az elektromágnes tette ki. Az állomás létesítésének összes költsége elérte a 3,5 millió USA dollárt.

A berendezés LY hívójellel hét hullámhosszat használt, (12,8-21,7 kHz) között lehetett hangolni. Az 50% körüli hatásfoka miatt a tényleges kimenő teljesítménye 500 kW, üzemi árama 1250 V feszültség mellett 800 A volt.

A Bordeaux-i Lafayette adóállomás, az Atlanti-óceán feletti távközlésben, megfelelő ellenállomása lett az Annapolis-i berendezésnek. A háború után az USA kormánya a francia államnak adományozta.

Németországban

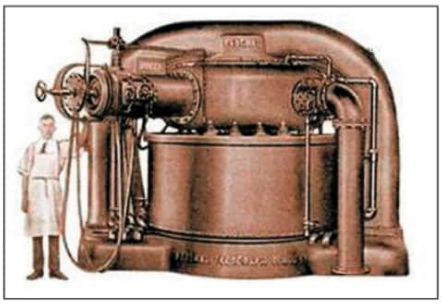
a Poulsen-féle szabadalmat a C. Lorenz cég vásárolta meg, majd hajókat, parti-állomásokat szerelt fel Poulsen-rendszerű, 2-4 kW-os készülékekkel. Később nagyobbak is készültek, a Königs Wusterhausen-i rádióállomáson több ilyen berendezés szolgált a háború alatt. *Mende Jenő* egy 100 kW-os adóról tesz említést, mely Rómával tartott kapcsolatot, *Magyari Endre* 1926-ban, működő 30 kW-os ívfényadót látott ugyanott. (Lehet, hogy a két berendezés ugyanaz volt, csak Mende Jenő a bemenő teljesítményt, Magyari Endre pedig az antenna teljesítményt adta meg.)

Állítólag az első világháború kitörése előtt a német főparancsnokság a Lorenz cég ívadóit szereltette fel a hadihajókra, de a hadműveletek megkezdéséig lepecsételve tartották azokat. 1914 nyarán, a háború első napjaiban kiderült, hogy sem az orosz, sem a vele szövetséges rádióállomások nem tudták venni a német flotta rádiótáviratait, mert a Poulsen-adók csillapítatlan hullámokat sugároztak és ezek a detektoros vevőkészülékekben nem alakultak át hallható hangokká. Az oroszoknál M. V. Sulejkin rádiótechnikus oldotta meg a problémát. Ő is egy elektromechanikus szaggatót, ún. „tikkert" készített, amellyel hallhatók lettek a csillapítatlan hullámú adók.

A müncheni Deutsches Museum gyűjteményében jelenleg is őriznek egy 2 kW-os Lorenz ívfényadót **(13. kép)**.

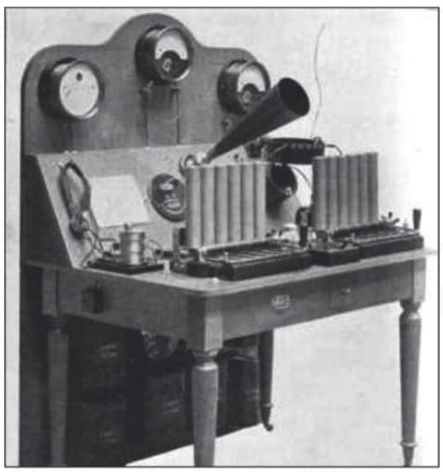
A Telefunken nem vásárolta meg a Poulsen-féle szabadalmat, hanem saját rendszerű ívfényadót fejlesztett ki. 1906-ban volt újdonság *M. Wien* tanár oltott szikrás adója, amelyben sorosan helyezkedtek el a szikraközök, a kisebbekben 4-6, a nagyobbakban akár 50 darab is. Az ívfényadójukban is ezt az ötletet próbálták felhasználni: hat darab ívet kötöttek sorba. Egy mechanikus szerkezettel megoldották az ívek egyszerre történő gyújtását, azonban a szénpálcák viszonylag vékonyak voltak, hamar elégtek, és hiányzott mindaz a felszerelés – erős mágnes, szénhidrogéngőz – mely a Poulsen-rendszert annyira hatásossá tette, hogy megawatt nagyságrendű adókat tudtak készíteni.

Érdekes módon Telefunkenék ezt a berendezésüket már kifejezetten telefoniaadónak szánták, a kapcsolási rajzon morzebillentyűt nem találtunk. Készítettek olyan készüléket is, melynek asztalára két készlet, egyforma, soros ívadó szerkezetet szereltek fel. Csak valószínűsítjük, azért, hogy a széncserék idejére az adást ne kelljen sokáig szüneteltetni. A berendezés túl sikeres nem lehetett, mert 1910 körül a Telefunken inkább a gépadók fejlesztésén dolgozott, Európában pedig a Poulsen-rendszer terjedt el.

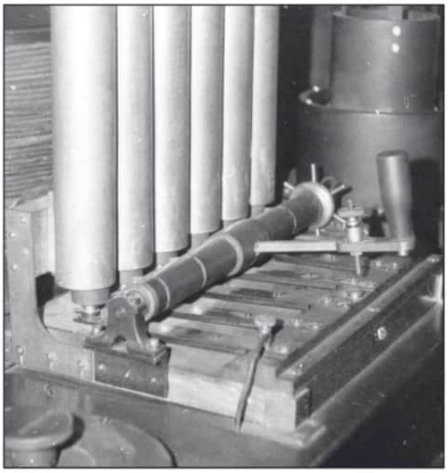


12. kép. 1 MW-os Federal-féle ívlámpaadó Bordeaux-ban

13. kép. 2 kW-os Lorenz ívfényadó

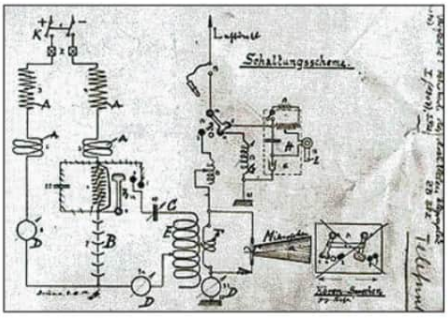


14. kép. Telefunken soros ívfényadó, két készlet ívsorral

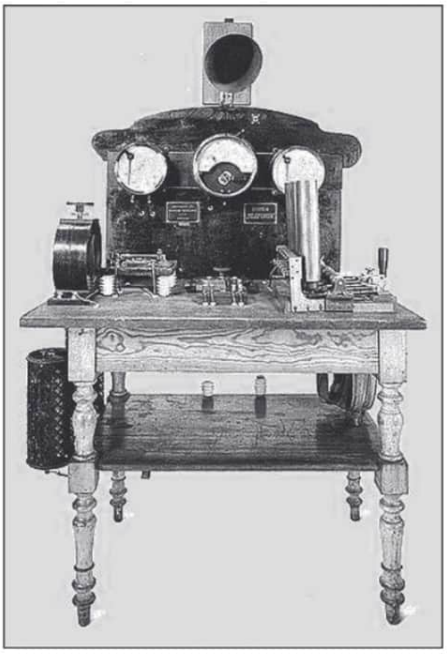


15. kép. Telefunken-rendszerű soros ívfényadó, Technikai Múzeum, Bécs. (Szerző felvétele)

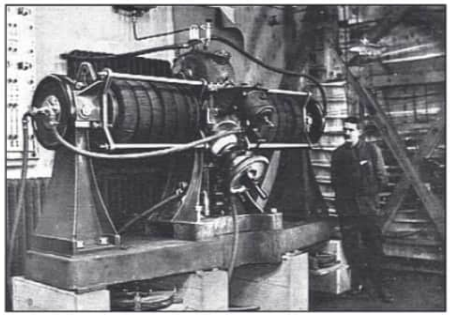
A Deutsches Museum Bonn és a Technisches Museum Wien gyűjteményeiben megőriztek egy-egy komplett soros ívfényadót **(14-15. kép)**.



16. kép. Soros ívfényadó kapcsolási rajza



17. kép. TFK-rendszerű soros ívfényadó telefonbeszélgetés céljára (Deutsches Museum, Bonn)



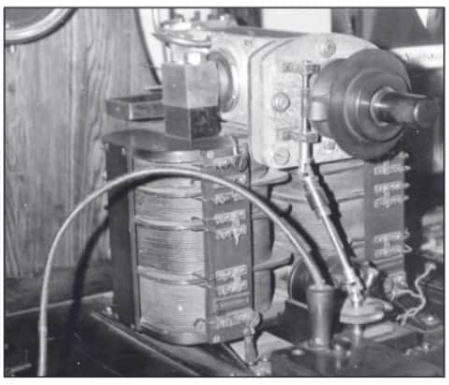
18. kép. Egy 30 kW-os ívfényadó, de nem Csepelen, hanem vélhetően a gyártóműben. (Postamúzeum fotótárából)

Hivatalosan 1906-ban, a soros ívadókat még nem a Telefunken, hanem jogelődje, a Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m.b.H. gyártotta, de Telefunken rendszerként hozták forgalomba **(16-17. kép)**.

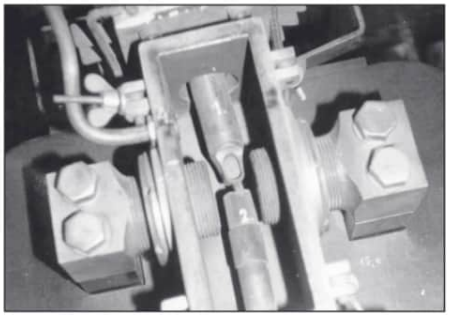
Az Osztrák-Magyar Monarchia

is kísérletezett ívfényadókkal. A szerzett jó tapasztalatok alapján – Lyngby és Bécs között, 1000 km távolságból, a két állomás távírászai kiválóan hallották egymást –, 1912-13-ban öt nagy katonai állomást rendeztek be 20-30 kW-os készülékekkel: Bécsben, Trientben (ma Trento), Sarajevoban, Pétervárадon, valamint Przemyslben. Ezeket részben a Berliner Telefonfabrik AG. szállította, részben a valószínűleg annak fiókvállalataként létesült Wiener Telefonfabrik AG.

1914-ben Magyarországon, a Csepeli Rádióállomáson felszerelt 30 kW-os ívfényadó a bécsi Telefonfabrik AG. gyármánya volt, de nem nagyon használták, ezért egy évvel később átszállították Temesvárra és az ottani



19. kép. A 4 kW-os adó mágnese és ívkamrája. (Szerző felvétele a bécsi Technikai Múzeumban)



20. kép. A 4 kW-os adó ívkamrája felülről. (Szerző felvétele a bécsi Technikai Múzeumban)

katonai rádióállomás berendezése lett **(18. kép)**.

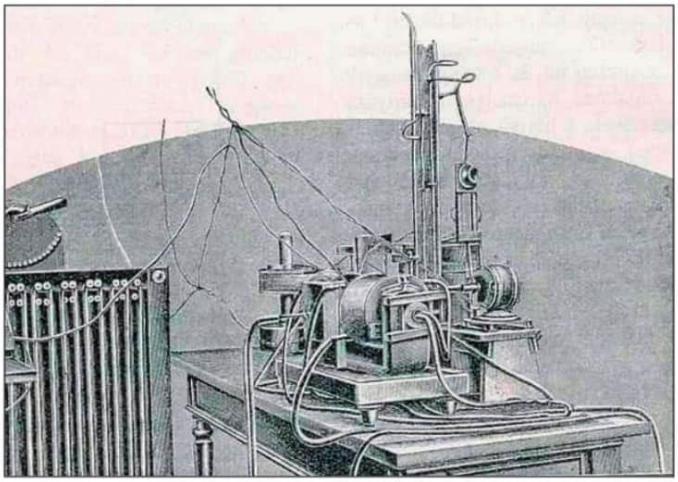
Kisebb, 4 kW-os Poulsen ívfényadót, az Osztrák-Magyar Hadsereg vezérkara(?) használt, ez a Bécs-Laaerberg-i rádióállomáson volt felszerelve és megmaradt a Bécsi Technikai Múzeumban. Ez az adó telefonüzemre is alkalmas volt, a **19. képen** a tipikus Poulsen-féle mágnes látható, tetején az ívkamrával **(20. kép)**. Jól látszik a szénrudat forgató tengely, a kardáncsuklókkal.

Olaszország

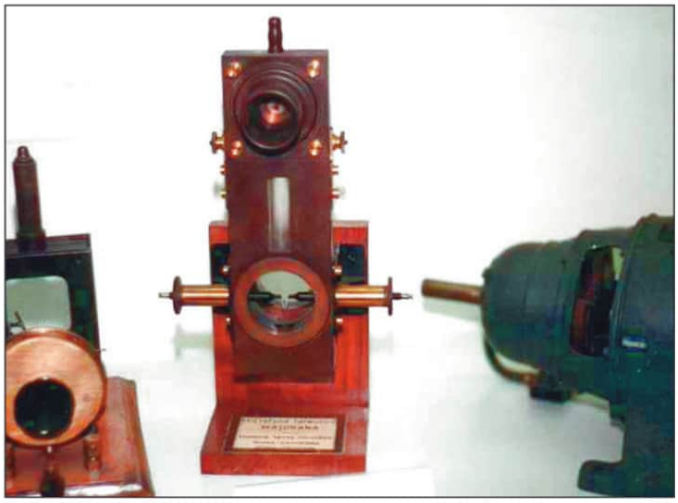
Majorana tanár, aki az Olasz Posta egyik igazgatója volt, 1908 körül folytatott hangátviteli kísérleteket Poulsen-féle ívlámpaadóval és vízmikrofonnal. **(21. kép)**. A kép eredeti aláírása hibás, a képen nem a vevő, hanem az adókészülék látható.) A vízmikrofon Majoranna találmánya volt **(22. kép)**, később Vanni módosította, és jelentős távolságra tudtak vele telefonálni, de azután a korszerűbb megoldások szükség-telenné tették ezt a szerkezetet.

Anglia és Írország

1906 júliusában Poulsen egy olyan szerződést írt alá az angol lord Armstronggal, mely összekapcsolta a dán és brit érdekeltségeket egy új társaságba, az „Amalgamated Radio Telegraph Company Limited”-be. Egy évvel később Poulsenék már rádiókapcsolatban voltak az angliai Newcastle-lel (900 km) és az írországi Knockroe-val (1500 km). Később ezek az állomások nagyobb Poulsen-berendezéseket



21. kép. Majoranna Poulsen-féle adókészüléke, felette a vízmikrofon. (Magyar Természettudományi Közlöny, 1908)



22. kép. Majorana vízmikrofonja (középen). (Szerző felvétele, Technikai Múzeum Milano)

kaptak a tengerentúli forgalom céljára, mert a magyar Mende Jenő 1921-ben közli: „tengerentúli forgalomra New Castle-ban és az Ír parton hasonló állomásokat rendeztek be (1913).” A Knokroe-ban működő állomás antennateljesítményét 10-15 kW-ban jelölte meg, ugyanakkor a két nagy dinamó 1000 V feszültség mellett 125 kW energiát szolgáltatott. (Ezt az adatot kétkedéssel kell fogadnunk, valószínű, hogy a két dinamó, mint más állomásokon is szokás volt, egymás tartalékát képezte. Tehát egyidőben csak az egyik volt működésben, kb. 60 kW teljesítménnyel. Ha a 60 kW-ot összevetjük a kisugárzott 15 kW-al, 25%-os hatásfokot kapunk, ami már jól megközelíti az említett 19%-ot.)

A Szovjetunióban

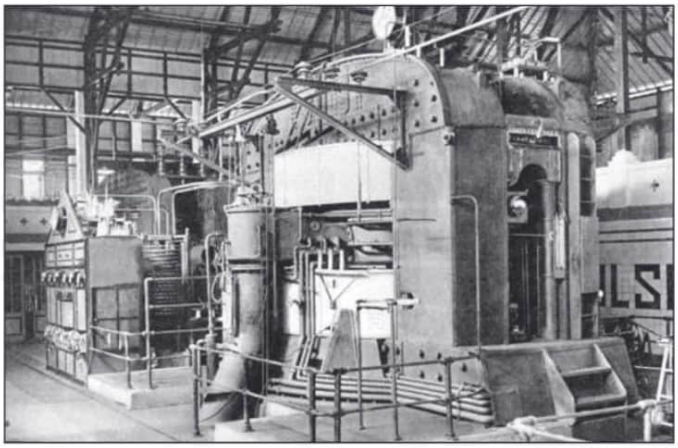
Szentpétervárott, 1917-ben kezdték meg egy 100 kW-os ívfényadó építését, mely 1918-ra készült el. Nem sikerült adatot találni arra, hogy milyen rendszerű berendezés volt.

Holland Kelet Indiában

Malabarban létesítettek egy óriás ívlámpaadót, melyre méltán, nagyon büszkék voltak a hollandok **(23-24. kép).** 1923. május 5-től először egy 400 kW-os Telefunken gépadó kezdett működni az állomáson PMM hívójellel, majd 1923 júliusában PKX hívójellel, a holland *Dr. de Groot* mérnök, 2,4 MW antennateljesítményű Poulsen ívfényadó berendezést létesített a 6100 méteres hullámhosszon (49,2 kHz). Az óriásadó elektromágnesének tömegére jellemző, hogy csak a réztekercselése húsz tonna súlyú volt. Áramellátását a közeli, Pangalengani vízerőműtől kapta 25 kV feszültségen. (Ugyanez az erőmű állítólag még három másik Poulsen ívadót és egy szikraadót is ellátott. A valóságban összesen három Poulsen-adó és egy 400 kW-os Telefunken gépadó volt az állomáson. A három Poulsen-adóból kettő 2400 kW-os, egy pedig 200 kW teljesítményű volt.)

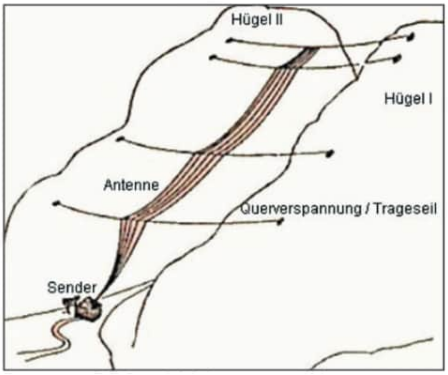
A malabari ívadó szerkezete, hasonlóságot mutat a Federal 1 MW-os adójával. Az adóállomás egy völgy bejáratánál épült, a hatalmas hosszúhullámú ferdeantennát a völgy felett vezetett huzalokból alakították ki **(25. kép)**.

Az antennát a völgy felett keresztbe feszített sodronyok tartották, maga az antenna 2000 méter hosszan, 240 méter szélességben helyezkedett el a völgy felett, és hét darab egyenként 35 mm2 keresztmetszetű rézsodronyból állt. Az antenna csúcsrésze 480 méterre emelkedett a völgy-talp fölé és mintegy 800 méter hosszra az antenna bevezetéstől.



23. kép. 2400 kW-os Poulsen féle ívfényadó a Malabar-i adóállomáson

24. kép. A Malabar-i adóállomás



25. kép. A Malabar-i adóállomás antennája

Iránya 324 fok, pontosan a Hollandiában fekvő Kootwijkra volt irányozva. (Ezt a közlést nem kell egészen komolyan vennünk, mert Kootwijk adóállomás volt és a Malabari adó vétele nem ott történt.)

A Malabar-i óriásadó teljesítményét az információforrások eltérő adatokkal szerepeltetik. Legmegbízhatóbbnak tűnik a **26. képen** szereplő kettős 2400 kW-os adó, előtérben egy 200 kW-os külön ívlámpaadóval. Ezt megerősíti a Telefunken Zeitung 1925 októberi számában megjelent adat, ahol von *W. Doetsch* 2400 kW antennateljesítményt ír. Egy másik forrás, 3,6 MW bemenő teljesítményűnek mondta a berendezést, a magyar Jovitza mérnök a negyvenes évek elején 3,5 MW-os adót említett. Mi oka lehet a nagy eltérésnek? Nyilvánvaló különbség van a bemenő- és az antennateljesítmény között. Ha a kettő különbsége 1,1 MW, akkor túlzottan jó, 68 %-os hatásfokot kapunk. Esetleg a negyvenes évekre sikerült megemelni az adó teljesítményét…

Zárszó

A Bordeaux-i 1 MW-os és a Malabar-i 3,5 MW-os távíróadók (a magyar Jovitza mérnök szerint) 1940-ben még működtek.

A bordeauxi és malabari adókon kívül, 100 kW-os vagy nagyobb ívadók voltak Lyon, Nantes, Párizs (Eiffel-torony állomás), Szaloniki, San Francisco, Hawai, Kairó, Horsea Island és Portsmouth rádióállomásain, továbbá még nyolc állomáson az Egyesült Államokban. A két angol állomásnak (Horsea Island és Portsmouth) fontos szerepe volt abban, hogy Angliában a Marconi cég egyeduralmát megtörje.

Az ívfényadók alkalmazásának – miként a gépadókénak is – a rövidhullámú távközlés bevezetése, és a nagyteljesítményű elektroncsövek kifejlesztése vetett véget. Nem volt tovább értelme nagy energiájú hosszúhullámú berendezéseket üzemeltetni, amikor rövidhullámon tizedrész energiával megbízható összeköttetéseket lehetett elérni.

Felhasznált irodalom:

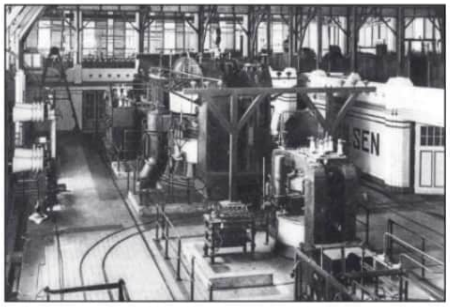
Mende Jenő: A drótnélküli telegráfia. Budapest, Dick Manó kiadása. 1921.

A csepeli rádióállomás 10 éves története, 1914-1924, Budapest

A M. Kir. Posta csepeli rádió állomásának személyzete, 1924.

Dr. Zemplén Győző: A drótnélküli telefonálás haladásáról,

Budapest, Természettudományi Közlöny, 1908 december



26. kép. A Malabar-i állomás adóterme, előtérben a 200 kW-os ívadóval

Rádió-Röntgen: Látogatás a Párizsi Eiffel-torony állomáson, 1924, Budapest

Internetről:

Poulsen Wireless Station at Lyngby. Modern Electrics, 1908 Június

Hans Buhl: The Poulsen Arc Transmitter, Adventures in Cibersound, 1995

Dave Fowler: Ocean Beach Wireless Transmitting Station. The virtual museum of the City of San Francisco, 1996

Ismeretlen szerző: Alternator, Arc and Spark. The first Wireless Transmitters

Masterpieces: Electric-arc transmitter von Telefunken,

Deutsches Museum Bonn, Évszám nélkül (2004-ben)

Captain Linwood S. Howeth: History of Communications-Electronics in the United States Navy, Chapter XI., Chapter XX. USN. 1963

von W. Doetsch: Die Grossstation Malabar-Radio Auf Java,

Telefunken Zeitung, Nr. 40/41, 1925 október

Heinrich Busch: Die Zeit der Lichtbogensender

» Az áramkörök is csak a jó tápot szeretik «

Fémházas kapcsolóüzemű tápmodulok

- stab. kimenet, rövidzár, túlfesz. és hőmegfutás elleni védelem
- 230 V/ 12 V= 5 A 3.990 Ft
- 230 V/ 12 V= 12,5 A 6.990 Ft
- 230 V/ 12 V= 21 A 9.990 Ft
- 230 V/ 12 V= 30 A 12.990 Ft

Labortápok (230 V-ról)

rövidzár, túlfesz., hőmegfut. védelem, állítható áramlimit

0 ... 30 V / 10 A 34.990 Ft
0 ... 30 V / 5 A 29.990 Ft
0 ... 15 V / 2 A 19.990 Ft mobiltel. RF-teszterrel
0 ... 15 V / 2 A 15.990 Ft analóg kijelzéssel

(A képek csak illusztrációk!)

HAM-bazár (+36 1) 239-4932/36 m. 239-4933/36 m. hambazar@radiovilag.hu 1550 Bp., Pf. 123 3

Technikatörténet – évszámokban

Pálinkás Tibor gépészmérnök, tpalinkas@radiovilag.hu

10 éve történt

– Fizikai Nobel-díjasok: *Serge HAROCHE* francia és *David J. WINELAND* amerikai tudósok „az önálló kvantumrendszerek mérésével és manipulálásával kapcsolatos módszerek kidolgozásáért” (**1. ábra**)

– Január 1-jei indulással megalakult Az *MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont* (MTA Wigner FK), az addig önálló kutatóintézetekként működő MTA KFKI Részecske és Magfizikai Kutatóintézet (MTA KFKI RMKI) és az MTA Szilárdtestfizikai Kutatóintézet (MTA SZFKI) összeolvadása révén, a volt KFKI telephelyén.

– Március 26. *James CAMERON* kanadai filmrendező-kutató (pl. az *Avatar*, a *Mélység titka*, a *Titanic* filmek alkotója) Deepsea Challenger nevű, 12 tonnás különleges tengeralattjárójával (**2. ábra**) hajnalban leérkezett a földkéreg legmélyebb részére, a Mariana-árok aljára. A dekraláltan 10 898 m-es mélységben kb. három órát töltött el. (A legújabb mérések szerint az árok legnagyobb mélysége 10 994 m.) A lemerülés mintegy másfél óráig tartott, a felmerüléshez hetven perc is elegendő volt. A rendező mindvégig „magzatpózban” helyezkedett el a szűkös kabinban. Cameron célja a terület felfedezése és filmre vétele volt, de mintákat is gyűjtött biológusoknak, geológusoknak. A merüléssel hosszú idő után először ismételte meg Jacques Ernest-Jean PICCARD 1960-as teljesítményét. (*Lásd később.*) A begyűjtött mintákat a hidraulika meghibásodása miatt sajnos, nem tudta a felszínre hozni. Megjegyezzük, hogy a filmrendező korábban a Titanic roncsaihoz is lemerült.

– Október 25-től nálunk is mindenki számára elérhetővé váltak a Windows 8 operációs rendszer különböző változatai. A forgalmazók szerint: *„Nincs még egy operációs rendszer család, amely asztali gépen, notebookon, táblagépen és mobiltelefonon ugyanazt a rendszert nyújtaná felhasználóinak, fejlesztőinek és üzemeltetőinek.”* Ehhez képest hamar feledésbe merült…

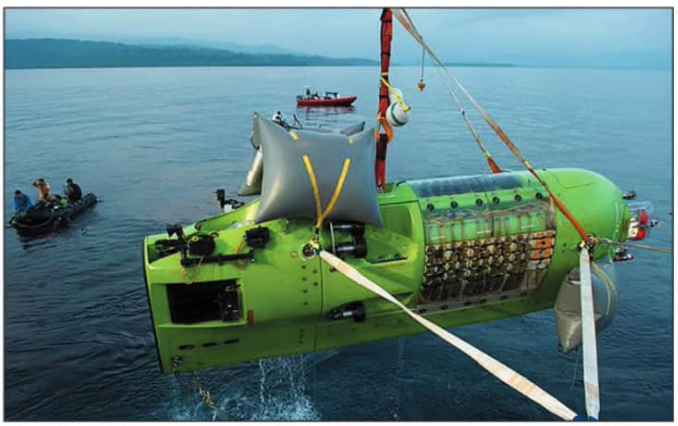
– December 21. Megszűnt a Régió Rádió, a régió és a regionális adások összefoglaló műsora. A régióközpontok: Győr, Debrecen, Pécs, Miskolc, Székesfehérvár és Szeged voltak.

A 2012-es év gazdag volt az űrkutatással, űrtechnikával kapcsolatos eseményekben és eredményekben. Ezek közül egy szubjektív válogatást teszünk közzé az alábbiakban.

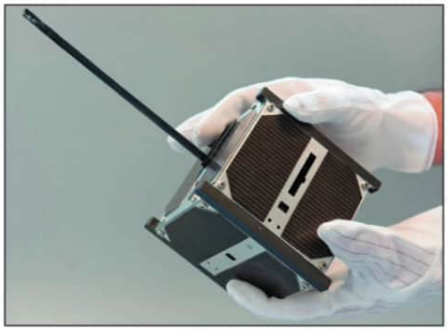
– Február 13-án az új európai Vega rakétával startolt Kourouból, majd Föld körüli pályára állt hazánk első saját építésű mesterséges holdja, a jórészt a BME-n tervezett *Masat-1* (**3. ábra**). A rakéta orrkúpja védelmében vele együtt utazó külföldi társai közül ez az 1 dm^3-es, nem egészen 1 kg tömegű kocka bizonyult a legsikeresebbnek. A fejlesztés utolsó fázisában, meglepetésre még egy VGA kamerát is beépítettek a holdacskába. Az MNB emlékérmet, a Magyar Posta emlékbélyeget adott ki az első magyar műhold tiszteletére. A műhold a küldetése végéig kifogástalanul működött, miközben többször került veszélyes közelségbe űrszeméttel, ill. másik műholddal. Végül – 1061 napnyi keringés után – 2015. január 9-én égett el a légkörben. Életnagyságú makettje a Magyar Nemzeti Múzumban tekinthető meg.

– Május 25. A SpaceX cég *Dragon* űrhajója – egyelőre személyzet nélkül – rendben csatlakozott a Nemzetközi Űrállomáshoz (**4. ábra**). Ez volt az első eset, amikor egy magáncég saját fejlesztésű rakétával pályára állított, saját fejlesztésű űrhajója randevúzott az űrállomással. Az első „menetrend szerinti” teherszállítást októberben hajtották végre egy Dragonnal. Az űrhajót speciális PICA-X hővédő pajzzsal látták el, ami gyors visszatérést és a tervek szerint az űrkabin újrahasznosíthatóságát ered-

1. ábra. David J. Wineland és Serge Haroche https://commons.wikimedia.org/wiki/File:David_J._Wineland_and_Serge_Haroche_1_2012.jpg



2. ábra. Cameron Deepsea Challenger nevű „függőleges torpedója”. https://index.hu/tudomany/2012/03/26/cameron_elerte_a_mariana-arok_aljat/



3. ábra. Jó kezek között a MASAT-1 műhold. https://www.origo.hu/tudomany/20150108-befejezi-fold-koruli-palyafutasat-a-masat-1.html

ményezi. Az első emberes küldetése (C207) során, 2020. november 20-án, 4 űrhajóst juttatott az ISS fedélzetére. A SpaceX a továbbiakban űrtúristák „fuvarozását" is tervezi a hétszemélyes űrjárművel.

– Június 16-án egy Hosszú Menetelés-2F hordozórakéta segítségével startolt a *Sencsou-9* űrhajó, három kínai űrhajóssal a fedélzetén, közöttük az első űrhajósnőjükkel, *Liu Jang*-gal. A Szojuz űrhajó licencén alapuló, de továbbfejlesztett űrjármű június 16-án, automata vezérléssel kapcsolódott össze a kis Tienkung-1 űrállomással. 24-én a manővert kézi vezérléssel is megismételték. Kína ez évben rekordot döntött: mind a 19 startjuk sikerrel járt!

– Augusztus 6-án az amerikai *Mars Science Laboratory* űrszonda eljuttatta a Marsra a *Curiosity* rovert, az egyik legnagyobb méretű és tömegű ilyen jellegű szerkezetet. Már az önjáró laboratórium landolása a Gale-kráter belsejében is technikai bravúr volt! A sajátságos, azóta is egyedülállóan bonyolult, kritikus, de szerencsére sikeres „légi darus"

4. ábra. A SpaceX Dragon űrhajója a Canadarm robotkar közreműködésével hamarosan csatlakozik az ISS-hez. https://interestingengineering.com/technology-behind-spacexs-dragon-spacecraft

eljárást alkalmazó leérkezési módszert (**5. ábra**) pl. a https://www.youtube.com/watch?v=N9hXqzkH7YA fantáziavideója mutatja be látványosan. A Curiosity marsjáró a várakozásnak megfelelően látta el feladatait.

– Október 31-én és december 19-én két részletben, *Progresz M-17M* teherűrhajóval, ill. a *Szojuz TMA-07M* személyszállító űrhajóval került az ISS fedélzetére a *TRITEL-SURE* dózismérő rendszer. A világszínvonalú műszerrendszert az MTA Energiatudományi Kutatóközpontban fejlesztették ki, a BL-Electronics Kft.-vel való együttműködésben. A rendszert a Columbus modulban helyezték üzembe november 6-án. Az első adatletöltésre november 9-én került sor.

– A december 12-én végrehajtott rakétastartjával Észa-Korea is belépett a világűrt elérő nemzetek sorába. Sajnos, a világ nagy része ennek nem örülhetett felhőtlenül, hiszen a rezsim megsértette az ENSZ rájuk vonatkozó, rakétakísérleteket tiltó határozatait! Az állítólagos „távérzékelő" műhold alacsony Föld körüli pályára került, de nagyon valószínű, hogy nem volt működőképes.

– Több magyar egyetemi kutatócsapat is bekapcsolódott az Európai Űrügynökség által szervezett magaslégköri ballonkísérletbe. Nyáron európai bolygótudományi konferenciát rendeztek Budapesten, az amerikai Kepler-űrtávcsővel dolgozó csillagászok pedig Veszprémben találkoztak.

– Ebben az évben a NASA még megmaradt három űrsiklóját végképp kivonták a szolgálatból, és elfoglalhatták a végső nyughelyüket jelentő kiállítóhelyüket. Először a *Discovery*-t szállították el a Smithsonian Intézet űrkiállítására (Steven F. Udvar-Házy Center), aztán az *Endeavour* került a Angeles-i California Science Center-be, annak fő attrakciójaként, végül az *Atlantist* szállították át a floridai Kennedy Űrközpont látogatóközpontjába, ahol rövid időn belül külön kiállítási csarnokot emeltek a számára.

Elhunytak:

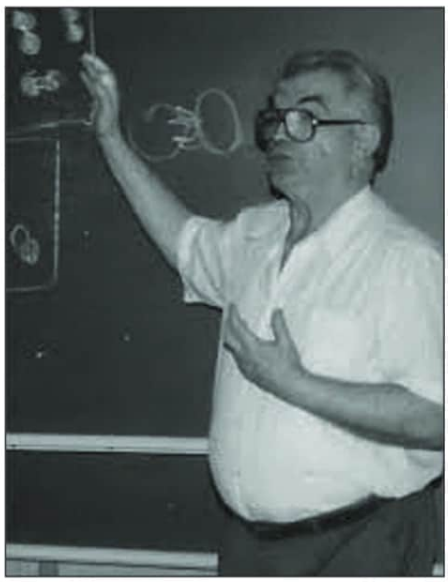
– Június 27. *BERÉNYI Dénes* (*1928) atomfizikus, az MTA rendes tagja; oktató, kutató, intézetvezető. Kutatásai során a radioaktív bomlással, magspektroszkópiával, atomi ütközések fizikájával foglalkozott. Tudományos publikációinak száma megaladja a 150-et. Róla nevezték el az 5694 Berenyi kisbolygót.

– Július 2. *KÁROLYHÁZY Frigyes*

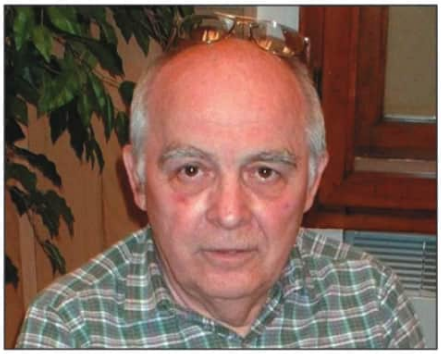
5. ábra. A Curiosity rakétafékezésű „légidarus" landolása (fantáziarajz). https://www.exploratorium.edu/mars/curiosity.php

(Fetter Frigyes, *1929, elméleti fizikus; (**6. ábra**), az ELTE TTK Kísérleti Fizikai Intézet legendás hírű egyetemi tanára, aki vendégkutató/okató volt az USA-ban és Chilében is. Idősebb honfitársaink leginkább a régi televíziós ismeretterjesztő műsorokból ismerhették meg kitűnő, közérthető előadói stílusát, amivel a kvantummechanikát és a relativitáselméletet próbálta közel hozni a laikus nagyközönséghez. A tudományos művei és közép- sőt általános iskolai fizika-tankönyvei mellett színvonalas ismeretterjesztő munkákat is írt. Ezek közül a kvantummechanikát népszerűsítő *Igaz varázslat* a legismertebb.

– Október 22. *PROHÁSZKA János* (*1920) gépészmérnök, az MTA levelező tagja, az anyagszerkezettan elismert tudósa. A wolfrám alakításával kapcsolatos eredményei itthon a Tungs-



6. Károlyházy Frigyes előadást tart. http://fiztanar.elte.hu/hallgatoknak/karolyhazy-frigyes-fizikatanari-problemamegoldo-verseny



7. ábra. Kovács Győző. https://vipcast.hu/cimke/kovacs-gyozo

ramban hasznosultak az izzólámpa- és elekroncső-gyártásban, de meghozták számára a nemzetközi hírnevet is. Prohászkát a Miskolci Nehézipari Egyetem és a BME szerkezettudósai máig egyik példaképüknek tekintik, hallgatóik a tankönyveit ma is leemelik a polcról.

– December 18. *DETREKŐI Ákos* (*1939) építőmérnök, Széchenyi-díjas geodéta, egyetemi tanár, az MTA rendes tagja. Kutatási területe a geodéziai és a fotogrammetriai mérések, illetve a térinformatika, de foglalkozott az ipari geodéziával is. Kilenc éven át volt a BME rektora.

– December 18. *Kovács GYŐZŐ* (*1933) villamosmérnök, informatikus, számítógéptervező (**7. ábra**). Az egyetem elvégzése után az MTA Kibernetikai Kutató csoportjához került, *Tarján Rezső*höz, tudományos segédmunkatársnak. Itt készült el 1959-ben – orosz tervek átdolgozása alapján – az első magyar elektroncsöves számítógép, az *M3*, amivel később az Erzsébet híd statikai számításait is ellenőrizték. Főtitkára, majd alalnöke volt a Neumann János Számítógép-tudományi Társaságnak. Ő lett az első magyar számítóközpont vezetője. Tudománytörténeti, tudománynépszerűsítő tevékenysége jelentős. 1983-ban részt vett a *Mikroszámítógép Magazin* megalapításában, aminek főszerkesztője lett. Kötetei jelentek meg *Neumann János*ról, de legismertebb könyve az [1], amelyben részletesen bemutatja az M3 megszületésének körülményeit is. Győző bácsi íróasztala a Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum Kaposvár utcai tanulmánytárában van (volt?) kiállítva. Itt van az M3 egyik mágnesdobja is, amelynek tervezését ő vezette, egy fémhulladék-telepről megmentett kezelőpanelje pedig a szegedi Informatika Történeti Kiállításon látható.

– *JUHÁSZ Miklós* (*1927) villamosmérnök. Az Orionban rádiókészlékek, majd az AT501 tévékészülék fejlesztésében vett részt. Később a Videotonban színestévé-fejlesztéseken, ill. a szervizelésükhöz szükséges szervizasztal és képminta-generátor fejlesztésével foglalkozott. A HITEKA-ban a legkülönfélébb gyártóberendezések elektronikai vezérlését tervezte. Több szabadalma is született, pl. egy telefonüzenet-rögzítő berendezésé. 1956 után a munkavállalói tulajdonosi részvétellel kapcsolatos cikkei miatt kizárólag műszaki területen dolgozhatott.

***

A következő év első percében fellélegezhettünk: 2012-ben – Maja naptár ide vagy oda –, nem lett világvége!

8. ábra. A HUBBLE űrteleszkóp javítása. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/05/STS-82_Hubble.jpg

25 éve történt

– A fizikai Nobel-díjat *Steven CHU* amerikai, *Claude COHEN-TANNOUDJI* francia és *William PHILLIPS amerikai* tudós nyerte el, „az atomok lézerfénnyel történő hűtésére és csapdába ejtésére szolgáló módszerek kidolgozásáért."

– Február 12. Erősen nyújtott ellipszispályára állt Japán első rádiócsillagászati műholdja, a *HALCA*. A 8 m átmérőjű, esernyőként kinyíló antennatükörrel felszerelt műhold rádióinterferenciás mérésekben vett részt, földi rádiótávcsövekkel együttműködve.

– Februárban a Discovery STS–82 küldetése keretében történt meg a *Hubble* űrteleszkóp második javítása/korszerűsítése. Két spektrográfját és egy kameráját cserélték ki űséta keretében, miután a robokar beemelte a hatalmas mesterséges holdat az űrsikló rakterébe (**8. ábra**). A felújítás végeztével visszaemelték a kozmoszba. A műveletet később pályakorrekciós manőverek követték.

– Április 1. Az igen fényes Hale–Bopp-üstökös áthaladt a perihéliumon. 18 hónapig szabad szemmel is látható volt.

– Május 11. Az IBM *Deep Blue* számítógépe legyőzi *Garry Kaszparov*ot. Ez az első eset, hogy egy gép hivatalos párosmérkőzésen legyőzi az emberi sakkozás aktuális világbajnokát.

– Június 25. Az elhibázott automata dokkolási manőver során a Mir űrállomás Spektr moduljának ütközött az orosz *Progressz M-34* típusú teherűrhajó. Az űrállomás jelentősen megrongálódott, az energiatermelés drasztikusan csökkent, de a személyzet biztonságban megúszta az incidenst.

– Július 4. Az előző évben indított küldetés *Mars Pathfinder* nevű űreszköze különleges, több-ballonos ütközéscsillapítású módszerrel leszáll a Mars felszínére, és némi nehézségek legyőzése után útjára bocsátja a *Sojourner* (Jövevény) nevű kis marsautót. Ez volt az első működőképes rover egy idegen bolygón!

– Október 15. A *ThrustSSC* nevű sugárhajtású jármű a Nevada állambeli Black Rock sivatag talaján 1228 km/h-ra (1,016 M-re) javítja az autók szárazföldi sebességi rekordját, ami a mai napig érvényes. Az angol fejlesztésű, Rolls-Royce hajtóművekkel felszerelt járművet egy angol vadászpilóta, bizonyos *Andy Green* vezette (**9. ábra**).

– Október 15. Egy TitanIV/Centaur rakéta orrában Floridából útnak indul az 5712 kg-os *Cassini* űrszonda. A szonda a JPL vezetésével készült, nemzetkö-

9. ábra. Andy Green a szuperszónikus ThrustSSC orrán pózol. https://hu.pinterest.com/pin/833306737276235578/

zi összefogásban. A fedélzetén magyar fejlesztésű műszerek is voltak. Több éves útja végén meglátogatta a Szaturnuszt, majd 2005 január 14-én az ESA-építésű *Huygens* leszállóegységet eljuttatta a Titán hold felszínére. A szonda 2017-ig működött.

– December 24. Startolt a hongkongi AsiaSat vállalat *AsiaSat-3* távközlési műholdja, azonban a rakéta hibás működése miatt messze nem a tervezett pályára állt, így – bár hibátlanul működött volna – a kitűzött célra nem vált alkalmassá.

– *Joseph KIRSCHVINK* amerikai geológus-geofizikus ismertette egyik elméletét, mi szerint a Föld forgástengelye több alkalommal is, legfeljebb 90 fokkal elfordult, azaz a korábban a mai Egyenlítő síkjában is tartózkodott. Ez geológiai mércével mérve rövid idő alatt, a kambrium elején történt.

– *Ian WILMUT* és *Keith CAMPBELL* bejelentette „Dolly" bárány klónozását, kifejlett bárány sejtjeiből.

– Először osztott meg mobiltelefonján nyilvánosan egy fotót – akkor született Sophie lányáét – *Philippe KAHN* szoftverszakértő. A telefonjához digitális fényképezőgépet csatlakoztatott, a szükséges programot pedig helyben, a szülészeten írta meg a laptopján. 2000-ben már kereskedelmi forgalomba került a találmányon alapuló, beépített kamerás mobilkészülék.

Elhunytak

– Február 13. *Id. RUBIK Ernő* (*1910; gépészmérnök, pilóta, feltaláló, a „kockás" Rubik Ernő édesapja), nemzetközi hírű vitorlázógép-tervező. Számos konstrukciója közül a leghíresebb a sportrepülőtereinken máig szolgáló *R-26S Góbé*, fémépítésű, kétüléses, kétkormányos oktatógép (**10. ábra**). Motoros kisgépeket is tervezett, legismetebb ezek közül az *R-18 Kánya*.

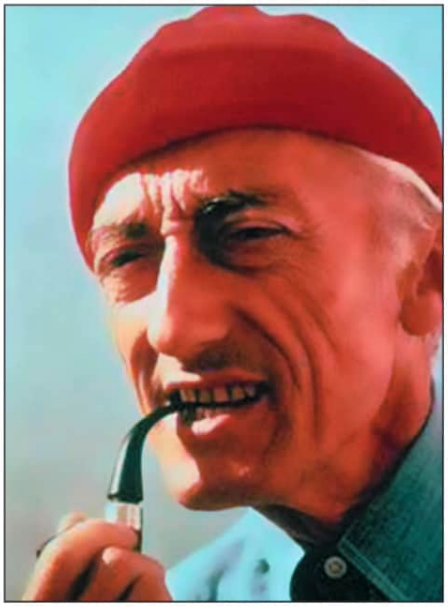
– Január 17. *Clyde TOMBAUGH*, amatőr csillagászból lett csillagász, a Plútó és mintegy 800 kisbolygó felfedezője (*1906). A Plutót, naprendszerünk volt 9. bolygóját 2006. Augusztus 24-én törpebolygóvá minősítették.

– Május 26. *Manfred von ARDENNE* német fizikus és feltaláló (*1907). Termékenysége „edisoni": nevéhez 600-nál is több szabadalom fűződik a rádió- és televíziótechnika, az elektromikroszkópia, az orvosi technika és a nukleáris technika köréből.

– Június 25. *Jacques-Yves COUSTEAU* (Saint-André-de-Cubzac; *1910), közismert francia tengerkutató, felfedező, természettudós és filmkészítő, aki életét a tengeri kutatásoknak szentelte (**11. ábra**). Calypso nevű kutatóhajójával járta az óceánt és néha a nagy folyamokat. Az ő ötlete alapján született meg a mélységfüggő levegőnyomást előállító könnyűbúvár-légzőkészülék, aminek a tesztelésében is aktívan részt vett. Később, egy továbbfejlesztett készülékkel 60 m mélyre merült le.

– Július 18. *Eugene Merle SHOEMAKER* (vagy Gene Shoemaker; *1928) geológus, csillagász, bolygókutató. Több földi kráterről bebizonyította, hogy azok aszteroida-becsapódások eredményei. A Holdra szálló első tudósnak jelölte a NASA, de egészségi problémája miatt ez nem valósulhatott meg. Autóbalasetben hunyt el, hamvainak egy részével a *Lunar Prospector* szonda 1998-ban a Hold déli részén csapódott be. Egy holdi krátert és egy űrszondát is elneveztek róla. Máig ő az egyetlen ember, akit a Holdon temettek el!

10. ábra. Idősebb Rubik Ernő és a kétüléses R26-SU Góbé.
https://iho.hu/hirek/rubik-nap-esztergomban-uj-nevet-kap-a-repuloter-141126



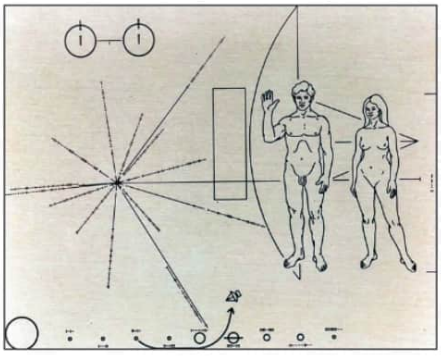
11. ábra. Cousteau kapitány.
https://www.babelio.com/auteur/Jacques-Yves-Cousteau/30667

– Augusztus 24. *Louis ESSEN* angol fizikus (*1908), Einstein relativitáselméletének egyik vitatója. A fénysebesség és az idő minél pontosabb mérése foglalkoztatta. A fénysebességet mikrohullámú üregrezonátorok segítségével határozta meg, a korabeli adatokénál sokkal pontosabban. Részt vett az első cézium-atomóra kifejlesztésében.

50 éve történt

– A fizikai Nobel-díjat *John BARDEEN, Leon Neil COOPER és John Robert SCHRIEFFER amerikai kutatók vehették át, „a szupravezetés jelenségeinek együtt kifejlesztett elméletéért"*, amelyet BCS-elméletnek (Bardeen-Cooper-Schrieffer elméletnek) is neveznek. (Bardeen másodszor kapja meg; ő az egyetlen kétszeres fizikai Nobel-díjas.)

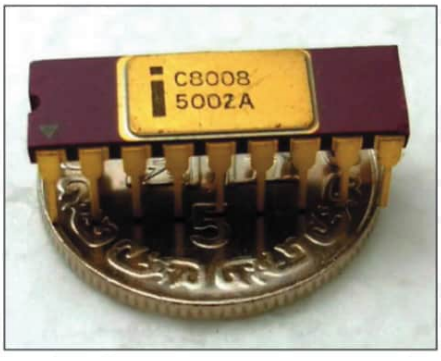
– Március 3. A Cape Canaveral űrállomásról egy Atlas-Centaur hordozórakétával, bocsátották fel a mindössze 250 kg tömegű *Pioneer-10* űrszondát, az első olyan ember alkotta objektumot, amely elhagyja a Naprendszert, a bolygóközi térben hintamanővert is végrehajtva. Az elektromos energiát – kezdetben 40 W-os teljesítménnyel – radioizotópos termoelektromos generátorok biztosították a rendszerei számára. A fedélzeten egy olyan aranyozott alumíniumlemezt helyeztek el, amely a Naprendszerről, Földünkről és az emberiségről tartalmaz fontos információkat, állítólag bárki számára



12. ábra. A pioneer-ek üzenetplakettje. Megfejtés: https://hu.wikipedia.org/wiki/Pioneer-t%C3%A1bla#/media/F%C3%A1jl:Pioneer10-plaque.jpg

megfejthető, logikus módon kódolva, egy emberpár körvonalrajzával illusztrálva (**12. ábra**). (Megjegyezzük, hogy a legtöbb földi tudós, akinek előzőleg megmutatták, nem tudta megfejteni az ábrák jelentését …) A szonda 1973. december 3-án 200 000 kilométerre közelítette meg a Jupitert, ahol közelképeket készített, magnetométereivel érzékelte a bolygó mágneses mezejét és felfedezte a gyűrűit, majd a csillagközi tér felé vette az irányt. Csak remélhetjük (?), hogy valami idegen civilizáció néhány millió év múlva elfogja, és mégis megfejti az üzenetet! 1973. április 6-án a szonda társát, a *Pioneer-11* –et is útjára bocsátották.

– Áprilisban az Intel piacra dobta a 8008 típusú, (más néven MCS-8, korábban 1201) 10 um (figyelem: *nem 10 nm*; a 8008 csip még fénymikroszkóppal megfigyelhető topológiájú!) csíkszélességű PMOS mikroprocesszorát (**13. ábra**). Az első kereskedelmi forgalomba hozott 8 bites proceszor 14 bites címbusszal rendelkezett, azaz 16 KiB memóriát tudott közvetlenül megcímezni. Az órajel-frekvenciája max. 500 kHz-volt. Más országokban később



13. ábra. Egy szép, kerámiatokos 8008. https://bannatoresolitario.wordpress.com/

természetesen a klónjait is gyártani kezték, pl. az NDK-ban U808 típusjellel.
– *Louise WEBSTER*, *Paul MURDIN* és tőlük függetlenül *David DUNLAP*, miután megálapították, hogy a HDE 226868 katalógusjelű csillag egy kettős rendszer tagja, arra a következtetésre jutottak, hogy a társa fekete lyuk.

– Ebben az évben kezdték el külön termékként értékesíteni a négyzetes tasakba rejtett 8"-os (203,2 mm átmérőjű) flopilemezeket. Ilyenek kezelésére alkalmas meghajtó volt beépítve pl. az EMG-777 multiprocesszoros asztali számítógépbe, a monitor mellé. A meghajtókat a MOM gyártotta. Pár év múlva megjelent a hasonló felépítésű 5,25"-os flopi a hozzá való egy- vagy kétoldalas, teljes-, majd „félmagasságú" meghajtóval. Ilyet használtunk pl. a Commodore-64 homekomputerünkhöz csatlakoztatva, majd az első IBM PC-inkbe beépítve.

– Az IBM a londoni Lloyds bank megrendelésére kifejlesztette az első modern ATM-et, azaz bakkártyát kezelő pénzkiadó automatát, az IBM2984-et. A rendszert az év vége felé helyezték üzembe.

– November 15. Pályára állt a *SAS-2 (SAS B, Explorer 48)* gammasugárzásérzékelő kis űrobszervatórium, amelynek távcsövét távvezérléssel a világűr tetszőleges pontjára lehetett irányozni, 1 fokos pontossággal. Az adatátvitel sebessége 1000 bit/s volt.

Elhunytak

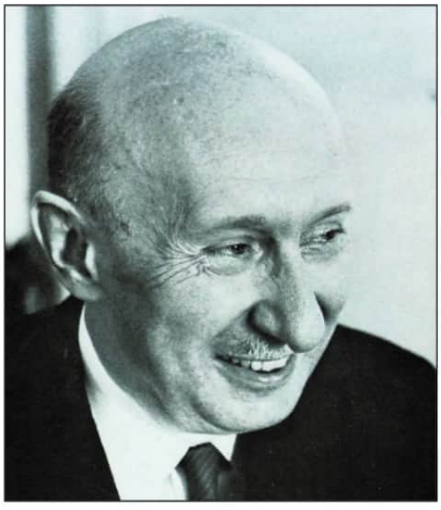
– Január 27. *Richard COURANT* német származású, később amerikaivá lett matematikus, matematikatörténész (*1888). A parciális differenciálegyenletek elméletével foglalkozott, de alkalmazott matematikai kutatóintézetet is alapított. A ma numerikus algoritmusok formájában széleskörben alkalmazott végeselem-módszerrel kapcsolatos kezdeti kutatásokba is bekapcsolódott. Világhírű műve a matematikát népszerűsítő *Mi a matematika?* c. kötet.

– Június 13. *BÉKÉSY György* Nobel-díjas magyar-amerikai biofizikus, akadémikus (*1899; **14. ábra**). Eleinte a Posta Kísérleti Állomáson dolgozott, telefonhallgatók korszerűsítésén. Ehhez meg kellett ismernie a fül működését, így anatómiai tanulmányokat is folytatott. A hallószerv működésére vonatkozó kutatási eredményeiért 1961-ben fiziológiai és orvostudományi Nobeldíjban részesült. Jelentős eredményeket ért el az akusztika terén, ahol *Magyari Endrével* teljes akusztikai rendszert dolgoztak ki. A Magyar Rádió stúdióit is ő tervezte. A Tudományegyetemen a Gyakorlati Fizikai Intézet professzora, az MTA levelező, majd rendes tagja lett. A háború során Svédországban végezte kutatómunkáját, majd az USA-ba emigrált és 16 évig a Harvard egyetemen dolgozott.

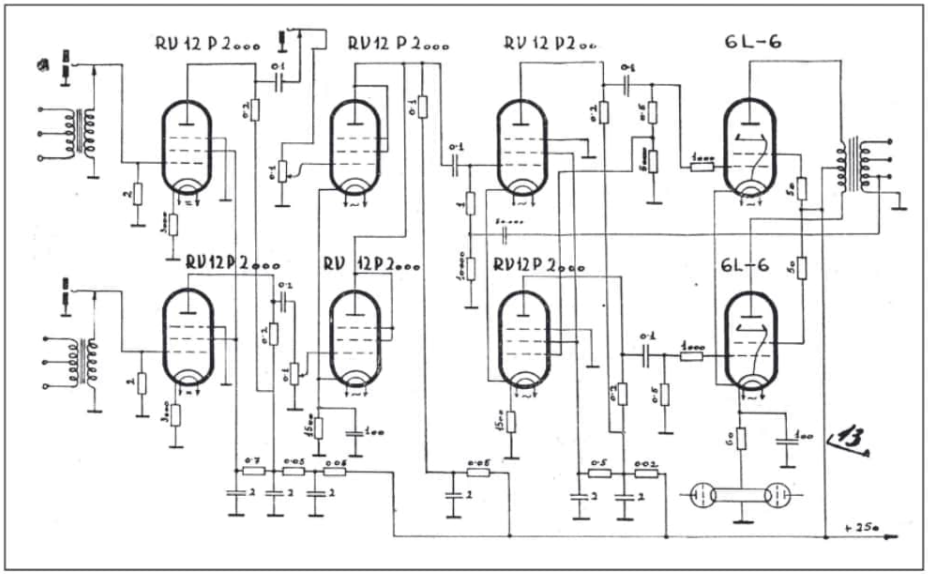
– Június 18. *Milton Lasell HUMASON* amerikai csillagász (*1891). Először a Wilson-hegyi obszervatórium gondnoka, majd éjszakai ügyeletese lett. Bár csupán az általános iskolát járta ki, 1919-ben a csillagvizsgáló munkatársa lehetett. Rengeteg nagyon precíz megfigyelést végzett. 1954-ben megszerezte az egyetemi diplomát. Nagy esélye lett volna a Plutó felfedezésére, de valamiért ez nem történt meg. Mivel évekig dolgozott Hubble-vel közösen, sokáig a felfedezései egy részét munkatársának tulajdonították.

– Október 20. *Harlow SHAPLEY* amerikai csillagász (*1885). Miután az extragalaxisokkal kapcsolatos tévedéseit belátta, eredményeket ért el ezek kutatása terén. Legnagyobb érdeme azonban, hogy a Harward Egyetemi Obszervatóriumot vezető tudományos központtá tette.

– November 25. *Henri COANDĂ* román mérnök, feltaláló, aerodinamikai úttörő (*1886). Az az állítása, miszerint 1910-ben épített sajátos hajtóművű, Párizsban kiállított gépe lényegében sugárhajtású volt és repült is, erősen vitatható. Tényleges eredményként könyvelhető el a Coandă-hatás felfedezése, amire 1934-ben szabadalmat kapott. A fluid logikai elemek



14. ábra. Békésy György. https://loff.it/oops/ciencia-humana/georg-von-bekesy-el-mecanico-del-oido-interno-104245/



15. ábra. Zömmel háborús elektroncsöveken alapuló korszerű HF erősítő kapcsolási rajza a Rádió Technika 1947/1. számának 2. oldaláról

működése is ezen a hatáson – a konkáv felületre feltapadó légáramon – alapul.

– December 23. *Andrej Nyikolajevics TUPOLJEV* szovjet-orosz repülőgép-tervező (*1888). Már főiskolás évei alatt szélcsatornát készített, majd a CAGI-ban (Központi Aero- és Hidrodinamikai Intézet), melynek megszervezésében részt vett, első feladata is ez volt. Itt alakult meg a Tupoljev (később OKB-156 kódjelű) tervezőiroda 1922-ben. Szorgalmazta a repülőgép-építésre alkalmas alumíniumötvözet kifejlesztését. Az iroda első nagyobb munkája a LI-2 volt, amit a DC-3 licence alapján terveztek meg. Ezt számos katonai, később polgári repülőgép is követte, de „mellékesen" pl. torpedónaszádot is terveztek. A Tu-114 1958-ban Brüsszelben nagydíjat kapott. Nálunk a Tu-134 és a háromhajtóműves Tu-154, ill. utóbbi különböző továbbfejlesztett változatai voltak széles körben ismertek. A MALÉV a Tu-154B2 gépeit 2001. március 31-én vonta ki az utasforgalomból. A HA–LCG lajstromjelű gép a ferihegyi Aeroparkban van kiállítva.

75 éve történt

– A fizikai Nobel-díj nyertese *Sir Edward Victor APPLETON* Brit tudós, *„a légkör felső rétegének fizikájával kapcsolatos kutatásaiért, különösen a róla elnevezett ionizált réteg felfedezéséért"*. Ez a bizonyos réteg 250…350 km magaságban húzódik.

– Májusban *Molnár János* főszerkesztővel és *Wágner Walter* szerkesztésében ismét megjelenik a *Rádió Technika* amatőrrádiós szaklap, a korábbiakhoz hasonló címlappal. [2] A korabeli kapcsolási rajzok stílusát a **15. ábra** illusztrálja. Két rádiós témájú könyv 1947-ből: Magyari Endre: Rádióméréstechnikai tanácsok, *Kiss Tivadar*: Rádióévkönyv az 1948-as évre.

– November 6-án Molotov szovjet külügyminiszter bejelentette az amerikai atommonopólium megszűnését, amit az *Igor Vasziljevics Kurcsatov* által vezetett kutatások, fejlesztések – és bizony az amerikai kutatási eredmények illegális megszerzése – útján értek el. Berija, a projekt hírhedt felügyelője minden „másodkézből kapott" kutatást, mérést, kísérletet megismételtetett, tartva az „átveréstől".

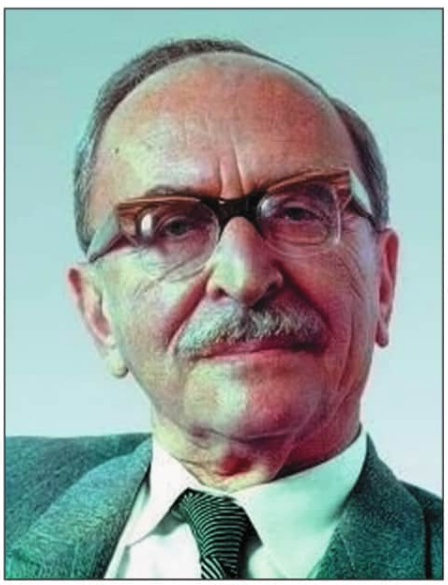
– Novemberben hozták nyilvánosságra az 1944-ben *Glenn T. SEABORG* kutatócsoportja által azonosított transzurám elem, a Kúrium (Cm) felfedezését, amelyet az atomreaktorok elhasznált fűtőelemeiből lehet kinyerni – tonnánként kb. 20 g-nyit. Izotópjai erősen radioaktívak, főleg alfa-sugárzók. Ritkaságuk miatt rendkívül drágák, így leginkább űrszondák termoelektromos áramforrásaiban és röntgenspektrométereiben használják.

– December. *W. Rae YOUNG* és *Douglas H. RING*, a Bell Labs mérnökei méhsejt-elrendezésű cellahálózatot javasoltak a mobiltelefon-szolgáltatás biztosítására.

– *GÁBOR Dénes* (Günszberg Dénes, később Dennis Gabor, *1900; †1979) fizikus, gépészmérnök, villamosmérnök (**16. ábra**). Feltalálta a holográfiát, amiért 1971-ben fizikai Nobel-díjat kapott. Ez a módszer alkalmas egy tárgy háromdimenziós leképezésére koherens fényforrás kettéválasztott fényének segítségével, leképező optika nélkül. A fotolemezen interferenciakép keletkezik, amelyet megfelelően megvilágítva, a „térben lebegve" előáll a tárgy 3D-s képe. Számos kutatóhelyen dolgozott, és a holográfián kívül rengeteg felfedezés és találmány fűződik a nevéhez.

– December 23-át tekintik az emberiség egyik igazán korszakaltó találmányának, a régóta várt „félvezető triódának", később *Pierce* által *tranzisztor*nak nevezett eszköz születésnapjának. Ekkor demonstrálta a három feltaláló, *John BARDEEN*, *Walter Houser BRATTAIN* és *William Bradford SHOCKLEY* a Bell Laboratóriumban kollégáik és néhány menedzserük előtt az eszköz – lényegében germánium tűstranzisztor – HF-erősítőként való alkalmazhatóságát. A feltalálókat 1956-ban fizikai Nobeldíjban részesítették, *„a félvezetőkkel kapcsolatos kutatásaikért és a tranzisztorhatás felfedezéséért"*. Azért a találmány nem teljesen előzmények nélküli, erről pl. az [3]-ben olvashatunk. Akkoriban a tűstranzisztor működési mechanizmusát nem értették, viszont már korábban többen közzétették a ma térvezérlésű tranzisztornak nevezett eszközcsaládra vonatkozó elképzeléseiket. Shockley kidolgozta a záróréteges FET elméletét is. (Szerény véleményem szerint a „tranzisztor", azaz *Trans*fer Res*istor* megnevezés inkább erre az eszközre illett volna.) Ezek az elképzelések technológiai korlátok miatt csak évekkel később, fokozatosan valósulhattak meg.

– Ebben az évben kezdődtek a ki-



16. ábra. Gábor Dénes. http://www.gabordenes.hu/gabor-denesrol/

sérletek hangsebbességet meghaladó sebességű repülőgépekkel. Ehhez kifejlesztették az utánégetős hajtóműveket. Az első szuperszonikus vadászgép, ami tartósan volt képes ilyen sebességű vízszintes repülésre, az 1953-ra elkészült MiG-19 volt.

– *J. W. FORRESTER* és *A. V. HAEFF* (Massachusetts Institute of Technology, MIT) készítette a számítógépekben használható első gyors RAM-ot, a II. vh. alatt a radarokhoz kifejlesztett és célszerűen átalakított katódsugárcső felhasználásával.

– *Harold Eugene EDGERTON* villamosmérnök és fényképész, egyetemi tanár megtervezi a Rapatronic gyorsfényképező kamerát. Gépében mechanikai zár helyett két, egymáshoz képest 90 fokkal elfordított lineáris polárszűrő közé helyezett Farady- v. Kerr-cellát alkalmazott, amellyel 10 ns-os záridőt ért el. A sorozatfelvételeket több, sorrendi időzítésű kamerával készítette; mindegyik csak egy felvételt rögzített.

Születtek

– Január 24. *MICHIO KAKU* amerikai elméleti fizikus, a húr-térelmélet egyik megalkotója. Munkásságának célja Einstein álmának megvalósítása: a világegyetem négy alapvető kölcsönhatásának egységes leírása. Tudománynépszerűsítő tevékenysége jelentős.

– Április 2. *LUKÁCS Béla* elméleti fizikus, polihisztor, a tudományos ismeretterjesztés egyik legnagyobb élő művelője. Több díja mellé a „2008 Az év ismeretterjesztő tudósa”, kitüntetést, majd 2014-ben a Magyar Érdemrend Lovagkeresztjét is elnyerte. Elsősorban relativitáselmélettel és a kozmológiával foglalkozik. A KFKI, majd az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske- és Magfizikai Intézet tudományos tanácsadója. Számos tudományos és ismeretterjesztő munkája jelent meg, televíziós szerepléseiről is ismertté vált.

Elhunytak

– Április 7. *Henry FORD* amerikai üzletember, a Ford Motor Company alapítója (*1863). Az autóipar, a futószalagos gyártósor és a modern tömeggyártás egyik úttörője. Nevéhez 161 amerikai szabadalom fűződik. A nevét viselő, gépkocsikat gyártó céget máig leszármazottai vezetik.

– Május 20. *LÉNÁRD Fülöp* (németül Philipp Eduard Anton (von) Lenard) osztrák-magyar fizikus, egyetemi tanár (*1862), egy ideig *Eötvös Loránd* mellett is dolgozott. A katódsugarak tanulmányozása közben, a Lénárd-ablak (a katódsugárcsövön kiképzett apró nyílásra helyezett vékony alumíniumfólia, amin az elektronok ki tudtak lépni az eszközből) megalkotásával szerzett kísérleti tapasztalatok nyomán úgy vélte, hogy az atomok jórészt „üresek”, csak egy áthatolhatatlan kis „dynamida”, mint intenzív erőtér van bennük. 1905-ben megkapta a fizikai Nobel-díjat, „a katódsugarakkal kapcsolatos munkáiért”. Ideológiájával, politikai nézeteivel (nácizmus, antiszemitizmus) nem érthetünk egyet; az MTA 1945-ben kizárta tagjai sorából.

– Október 4. *Max PLANCK* Nobel-díjas német elméleti fizikus, a kvantummechanika megalapítója (*1858). Alapvető felfedezése a kvantumhipotézis, a hozzá kapcsolódó Planck-álandóval. Utóbbi az egyik SI-alapegység, a kilogramm a nemrég érvénybe lépett új definíciójának is az alapja. Megértette Einstein relativitáselméletének jelentőségét, szerepe volt a speciális relativitáselmélet kidolgozásában.

– December 1. *Godfrey Harold HARDY* angol matematikus (*1877). Fő kutatási területei a matematikai analízis és a számelmélet. Több könyve jelent meg. A leghíresebb az *A Course of Pure Mathematics* (Tananyag a tiszta matematikához; 1908), amely tíz kiadást ért meg.

– December 30. *Alfred North WHITEHEAD* angliai születésű amerikai matematikus, fizikus, logikus, végül filozófus (*1861). Számos könyve jelent meg. Írói munkássága az összes felsorolt tudományágat felöleli.

100 éve történt

– A fizikai Nobel-díjat *Hendrik David Niels BOHR* (*1885; †1962) dán fizikus érdemelte ki, „az atom szerkezetének, és a belőle kijövő sugárzás kutatásában szerzett érdemeiért”. 1938-ban a Magyar Tudományos Akadémia is tiszteletbeli tagjává választotta.

– Október 31-én nyerte el *JEDLIK Ányos István* (*1800, Jedlik István; †1895) doktori fokozatát Pesten, miután szigorlatozott filozófiából és történelemből. (A fizika és matematika szigorlatát az előző évben már letette.) Még 1822-ben megkezdte tanári pályafutását Győrben, ahova 1825-ben már felszentelt papként térhetett vissza. Lassan a XIX. század egyik legjelentősebb magyar fizikusává és a legtermékenyebb magyar feltalálójává vált. Győrben alkotta meg például a közvetlen forgómozgást előállító kommutátoros elektromotorját (ahogyan nevezte: a „villamdelejes forgonyt”) és az öngerjesztésű dinamóját. Sajnos, találmányai korszakos jelentőségével nem volt tisztában. A rá jellemző szerénységgel úgy gondolta, hogy ezeket már más bizonyára feltalálta, így nem nyújtott be szabadalmi igényt rájuk. Így esett, hogy világ máig *Ernst Werner von Siemens*t tartja a villanymotor és a dinamó feltalálójának.

– *Arthur Holly COMPTON* (*1892; †1962) fizikus kimutatta a röntgensugarak és a gammasugarak hullámhosszának növekedését, amikor kötött elektronokkal ütköztek (Compton-szórás). A megfigyelés azt igazolta, hogy a sugarak nem jellemezhetők csupán hullámjelenségként.

– A *Kodak* piacra dobta a 35 mm-es pánkromatikus nyersanyagot, mozifilmek forgatásához. Ez eleinte drágább volt, mint az akkoriban használatos ortokromatikus film, de néhány év múlva utóbiak gyártását mégis meg kellett szüntetniük. Az első pánkromatikus nyersanyagra fényképezett alkotás az 1922-ben forgatott *Fej nélküli lovas* volt.

– Az angliai Chelmsford közelében levő Wroni-i Marconi Kutatóközpontból elkezdték a rendszeres rádióműsorsugárzást. A szénmikrofont közvetlenül az antennába iktatták, így érték el az amplitúdómodulációt. Az adások keddenként voltak hallhatók, kb. 1 éven át.

Születtek

– Január 1. *SZÉP Iván Szilárd* (†2002) fizikus, kémikus, kutatómérnök. A Híradástechnikai Ipari Kutatóintézetben, majd a Műszaki Fizikai Kutatóintézetben dolgozott. A félvezetők fizikai-kémiai problémáival foglalkozott, az akadémiai félvezetőkutatás megalapozója. 1959-ben kapott Kossuth-díjat.

– Július 15. *Leon Max LEDERMAN* amerikai kísérleti részecskefizikus (†2018). Felfedezte, hogy kétféle neutrínó létezik. Ezért a felfedezért két tudóstársával együtt 1988-ban fizikai Nobel-díjban részesült. 1979 és 1989 között a Fermilab igazgatója volt.

– Július 18. *Thomas KUHN* amerikai tudománytörténész és a tudományok filozófusa (†1996). Híres, nagy vitákat kiváltó műve az 1962-ben kiadott *A tudományos forradalmak szerkezete*, amely a tudomány időszakos

paradigmaváltásairól, mint nemlineáris fejlődési folyamatról értekezik. Tartós vitapartnere volt *Polányi Mihály* (Michael Polányi) magyar-brit tudós, polihisztor.

– Július 28. *Jacques Ernest-Jean PICCARD* (†2008) svájci mérnök, tengerkutató. 1948. november 3-án a világon elsőként hajtott végre mélytengeri merülést, majd *Trieste* nevű batiszkáfjával – 60 próbamerülés után – 1960. január 23-án társával, *Don Walsh* oceanográfussal lemerült a Mariana-árok legmélyebb pontjára, a Challenger szakadékba. Az akkor 10 916 m-nek mért mélységben már mintegy 1100 bar a hidrosztatikus nyomás! A kutatók kb. húsz percet töltöttek ott. Ezt a műveletet a 2012 márciusáig nem ismételte meg senki! A batiszkáf rendkívül szellemes, alaposan átgondolt, nagyon biztonságos mérnöki konstrukció volt, lényegében egy repülőbenzinel töltött, alul nyitott „tengeri merülő ballon", nyomásálló gondolával (**17. ábra**). Konstrukciós alapjait a kutató édesapja, *Auguste Antoine PICCARD* fektette le. A batiszkáf és a merülés leírása a [4]-ban olvasható.

– Szeptember 9. *Hans Georg DEHMELT* németországi születésű amerikai fizikus, egyetemi tanár (†2017). A Nobel-díjat 1989-ben ítélték oda megosztva *Wolfgang PAUL-lal*, egy különeges elektromágneses ioncsapda-technika kifejlesztéséért, amivel kis számú töltött részecskét lehet hosszú időre csapdába ejteni. 1973-ban egyetlen elektront sikerült így izolálnia, amelynek mágneses momentumát $4 \cdot 10^{-12}$ pontossággal tudta megmérni!

– Október 1. *JANG CSEN-NING* kínai-amerikai fizikus. Doktorálása után *Enrico Fermi* asszisztenseként dolgozott. Fő érdeklődési köre a statisztikus fizika és a szimmetriaelvek voltak. 1957-ben LI CSENG-TAO-val megoszva részesült fizikai Nobel-díjban, azért a később mások által kísérletileg igazolt elméletükért, mely szerint az elemi részecskék közötti gyenge kölcsönhatás nem rendelkezik paritás-(tükör-) szimmetriával. Idős korában, nyugdíjazása után egy kínai egyetemen tevékenykedett tovább.

– November 9. *LAKATOS Imre* (Lipsitz Imre), az egyik legjelentősebb Angliában kutató magyar matematika- és tudományfilozófus (†1974). Debrecenben jogot, majd matematika-fizikát hallgatott, a ELTE-n filozófiát, ahol *Lukács György* tanítványa volt. Az MTA matematikai intézetben matematikusként dolgozott. Később Angliában matematikafilozófiával és tudományfejlődéselmélettel foglalkozott. Megalkotta a „Pozitív heurisztika" fogalmát.

Elhunytak

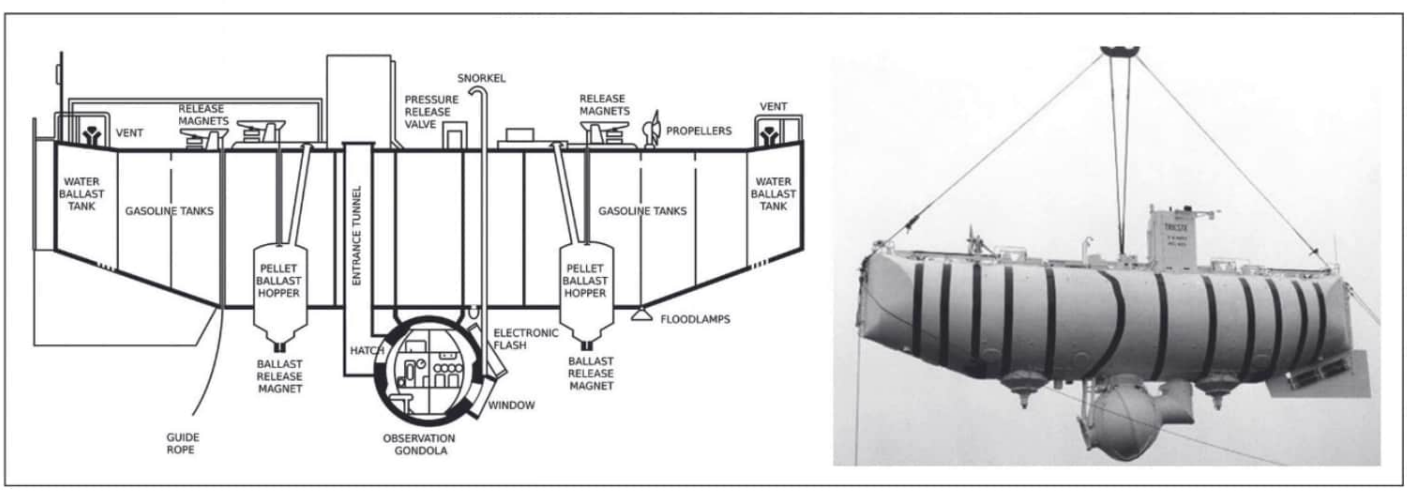
– Január 22. *Camille JORDAN* francia matematikus (*1838). Kezdetben a lineáris differenciálegyenletek elméletével és a komplex függvénytannal foglalkozott. Fontosabb eredményei a Jordan-féle normálalak, a Jordan-féle görbetétel. Társszerzője a Jordan–Hölder-tételnek. Elsőként ismerte fel a Galois-elmélet jelentőségét, a csoportelméletet a geometriában alkalmazta, közreműködött a mértékfogalom kialakításában.

– Március 7. *Axel THUE* norvég matematikus (*1863). Alkalmazott matematikával foglalkozott, 1904-ben ő vezette be az „algoritmus" kifejezést. Jelentős a számelméleti munkássága. Thue találta ki az elméleti számítástechnikában fontos semi-thue sztringhelyettesítő rendszert.

– Augusztus 1. *BÁNKI Donát* (Lőwinger Donát, *1859) gépészmérnök, a Műegyetemen a hidrogépek, kompresszorok és gőzturbinák szerkezettanának professzora volt. Bevezette a laboratóriumi képzést, számos demonstrációs eszközt készített. Jelentős találmányai: Bánki-Csonka motor, benzinporlasztó (megelőzve Wilhelm Maybach-ot, akit sokan máig a karburátor feltalálójának tartanak), Bánki-motor, Bánki-turbina. Utóbbiért posztumusz akadémiai díjat kapott. Egy hidraulikus repülőgép-stabilizátor kifejlesztésével is foglalkozott, látványos kísérleteket végezve egy tehervagonra szerelt kisrepülőn. Sajnos, ezen kísérletei nem vezettek eredményre.

– Augusztus 2. *Alexander Graham BELL* skót születésű amerikai fizikus, tanár, feltaláló, (*1847). Több neki tulajdonított találmány elsőbbségi joga nem őt illeti meg; a telefon feltalálásáé sem! (Az Amerikai Egyesült Államok Kongresszusa 2001-ben határozatban közölte, hogy egy másik feltalálónak, az olasz származású amerikai *Antonio MEUCCI-nak* tulajdonítja a telefont.) Sok más mellett erről is érdekes részleteket tudhatunk meg az [5]-ból. Mára beérett felfedezése viszont a fotoakusztikai hatás. [6, 7]

– *Andrej Andrejevics MARKOV* orosz matematikus (*1856). A matematika számos területén, pl. a számelméletben és analízisben is dolgozott, de legfontosabb eredményeit a valószínűségszámítás területén érte el. Bebizonyította a centrális határeloszlástételt. 1906-ban bevezette a Markov-láncok fogalmát, amely alapvető jelentőségre tett szert a sztochasztikus folyamatok elméletében. Ezek az eredményei



17. ábra. Picard batiszkáfja, a Trieste. A szerkezet hosszmetszete; a merülőhajó kikötői darun függve. https://en.wikipedia.org/wiki/Bathyscaphe#/media/File:Trieste_nh96807.svg

18. ábra. Az első magyar gőzfecskendő. https://ritkanlathatotortenelem.blog.hu/2018/03/28/ritkan_latott_magyarjaink_1_a_tuzpasa

mára, az öntanuló számítógépes algoritmusok korában, a mesterséges intelligencia hajnalán váltak igazán lényegessé. Számos további fogalom és tétel fűződik a nevéhez, mint pl. a Markov-szám, a Markov-sorozat.

200 éve történt

– Június 9-én nyújtották be a feltalálók, *SZABÓ Pál* és *fiai*, a gőzfecskendőre vonatkozó szabadalmi igényüket, amire 1924-ben kaptak védelmet, 5 évre. A mozgó alkatrészek nélküli tűzoltófecskendő jóval nagyobb teljesítményű volt a korabeli kézifecskendőknél, ráadául lényegesen kevesebb élőerőt kívánt meg az üzemben tartása (**18. ábra**). A berendezésben két rendszer dolgozhatott felváltva, biztosítva a fecskendő folyamatos üzemét.

– *Joseph FOURIER* a *Théorie analytique de la chaleur* c. művében kibővítette 1811-es tanulmányát és számos kiegészítést tett, ideértve a hőáramlást az idő függvényében leíró egyenleteket és a fizikai problémák határérték-problémákként való megfogalmazását, lineáris parciális differenciálegyenletekkel.

– *Joseph Nicéphore NIÉPCE* abbahagyja az ezüst-halogenid fotózást, mint „reménytelenül tarthatatlan módszert", és más fényérzékeny anyagok után megpróbálkozik a levendulaolajban feloldott, fényre keményedő, „judeai bitumen" vékony rétegének fémre és üvegre való felvitelével. Elkészíti az első fixált képet, VII. Pius pápa lenolajjal áttetszővé tett rézmetszetének kontaktmásolatát, közvetlen napfényben két órán keresztül átvilágítva, fényképezőgép vagy lencse nélkül. Sajnos, ez az üveglemezalapú másolat összetört; a „heliográfiai módszer" legkorábbi fennmaradó példája 1825-ből származik. A fotózás korai történetéről számos érdekességet olvashatunk a [8]-ban.

– Az 1922-ben Innsbruckban megrendezett első nemzetközi mechanikai konferencia hatalmas sikert aratott, költségeit egyébként *KÁRMÁN Tódor* állta. Az alkalmazott mechanika tudósainak rendszeres találkozója lett, hogy az első világháború miatt szétzilálódott tudományos életet újraindítsa és összefogja. Ez a mozgalom a mai napig is rendszeresen tartja kongresszusait, jelenleg *International Union of Theoretical and applied Mechanics* néven.

– Párizsban megjelenik *Francios Sulpice BEUDANT* francia geológus Voyage minéralogique et géologique en Hongrie pendant l'année 1818. (Ásványtani és geológiai utazás Magyarországon 1818-ban) című négykötetes műve.

– *RIESZ Frigyes, HAAR Alfréd, FEJÉR Lipót* által ez évben elindított *Acta Scientiarum Mathematicarum* lett az első világszínvonalú magyar matematikai folyóirat.

Születtek

– Január 2. *Rudolf CLAUSIUS* német/porosz fizikus, matematikus, a termodinamika tudományának egyik megalapozója (†1888). Újrafogalmazta a Carnot-körfolyamatot, megfogalmazta a termodinamika első és második főtételét, bevezette az entrópia fogalmát, levezette a Clausius–Clapeyron-egyenletet és számos egyéb alapvetést fogalmazott meg.

– Február 16. *Francis GALTON* angol polihisztor, felfedező, feltaláló, antropológus, földrajztudós, meteorológus (†1911). A Galton-deszka nevű, a normális eloszlás sűrűségfüggvényének demonstrálására szolgáló kísérleti eszközét mindenki ismeri.

– Március 11. *Joseph BERTRAND* francia matematikus (†1900). A matematikán belüli érdeklődése széleskörű volt: a számelmélet, differenciálgeometria, valószínűségszámítás, a termodinamika, valamint a közgazdaságtan matematikai elmélete területén alkotott.

– Március 14. *SZABÓ József* bányamérnök, geológus, a Magyar Tudományos Akadémia tagja, a magyar tudományos ásvány-, kőzet- és földtan megalapítója (†1894). Többek között bányamű-szótárt állított össze, salétrombányák felügyeletét látta el, ásványtant, kémiát és kiérleti fizikát is oktatott.

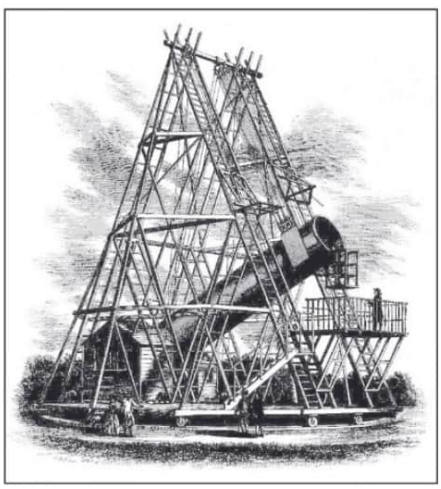
– December 24. *Charles HERMITE* francia matematikus, a századvég matematikai életének egyik vezető egyénisége (†1901). Kidolgozta az ötödfokú egyenletek általános megoldását elliptikus függvények segítségével, bebizonyította az „e" irracionális voltát, megalkotta a Hermite-polinomokat és még számos matematikai felfedezést tett.

Elhunytak

– Augusztus 13. *Jean-Robert ARGAND* svájci amatőr matematikus (*1768). Főállásban egy párizsi könyvesbolt vezetője volt. 1806-ban elsőként adott teljes bizonyítást az algebra alaptételére. Ugyanekkor publikált egy ötletet a komplex számok geometriai értelmezésére, ez az ún. Argand-diagram.

– Augusztus 19. *Jean Baptiste Joseph DELAMBRE* francia matematikus, csillagász és történész (*1749). Foglalkozott a gömbi trigometriával, 1793-ban ő vezette a Föld délkörének hosszát megmérő egyik expedíciót, aminek célja az újannan definiálandó egységes hosszmértéknek, a méteternek a megalapozása volt [9]. Elvégezte több bolygó pályaszámításait. Több tudományos tisztséget is betöltött.

– Augusztus 25. *Frederick William HERSCHEL* német-angol csillagász és zeneszerző, az Uránusz felfedezője, minden idők egyik legnagyobb megfigyelőcsillagásza (*1738). Csillagaszati műszerek készítésével is foglalkozott. Megépítette korának legnagyobb, 126 cm tükörátmérőjű távcsövét (**19. ábra**), amellyel többek között két Szaturnusz-holdat is felfedezett. Felfedezte továbbá az infravörös sugárzást, és szellemes módszerrel megállapította



19. ábra. Herschel 12 m-es tubushosszúságú óriástávcsöve. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Herschel_40_foot.jpg

a Nap felszíni hőmérsékletét. Rendkívül sok csillagászati szögmérést végzett, az adatokat katalogizálta. A nagyon gondos mérések alapján felgyülemlett adatai alapján más csillagászok számos felfedezést tettek. Róla nevezték el a 2009-ben Föld körüli pályára állított 3300 kg tömegű, 3,3 m-es tükörátmérővel rendelkező űrteleszkópot.

400 éve történt

– Február 22. *Dud DUDLEY* (*1600, †1684; kohász, katona, hadmérnök) elnyerte a szabadalmat vasérc koksz felhasználásával történő feldolgozására. Végső soron a mai, nagyolvasztókban folyó nyersvasgyártás is ezen alapul.

– *William OUGHTRED* feltalálja a logarlécet, ami eredeti formájában a szorzást és az osztást tette nagyon egyszerűvé, gyorssá. (Jelen sorok szerzőjének 1971-ben még matematika vizsgán kellett tanusítania a feltalálóénál jóval bonyolultabb logarléc kezelésében megszerzett jártasságát. Akkoriban a négy alapműveletes asztali elektronikai kalkulátor is ritkaságszámba ment, a zsebszámológép pedig ismeretlen volt nálunk.)

Születtek

– Január 28. *Adrien AUZOUT* francia csillagász (†1691). Részt vett a párizsi obszervatórium megalapításában, feltételezte az üstökösök ellipszispályáját, távcsöveket készített és tökéletesített, foglalkozott a higanybarométer elméletével, irányzótávcsövet szerelt a korábban dioptrás irányzású kvadránshoz, amivel megnövelte az irányzási pontosságát, kényelmessebbé tette a használatát. Ma a távcsöves irányzás mind a csillagászati, mind a geodéziai műszereknél általános.

– Március 10. *Johann RAHN* (Rhonius), Svájci matematikus (†1676). Neki tulajdonítják az osztásjel (:), ill. a logikai következményt jelölő „háromponts szimbólum" bevezetését, amivel először a 226 oldalas *Teutsche Algebra* (Német algebra) c. matematikakönyvében találkozhatunk.

– Április 5. *Vincenzo VIVIANI* olasz matematikus és tudós (†1703). 17 éves korától mestere haláláig – 3 éven keresztül – Galileo Galilei segédje volt. Toricelli halála után a firenzei akadémia őt nevezte ki a helyére. *Borelli*vel újra megmérték a hang terjedési sebességét levegőben, amit mai mértékegységgel kifejezve 350 m/s-nak találtak. Ez lényegesen jobb az odáig elfogadott 450 m/s értéknél.

Elhunytak

– Január 23. *William BAFFIN* hajós, felfedező, térképész (*1584). Legnagyobb érdeme, hogy először használta fel a tengeren a Hold járását a hosszúság meghatározására. Erre nagy szükség volt az északi vizeken, ahol a mágneses észak jelentősen különbözött a földrajzi északtól. Az északi szélesség 78 fokánál, a Smith-szorosnál a mágnestű addig valaha is észlelt legnagyobb, 56 fokos elhajlását figyelte meg.

– Május 15. *Petrus PLANCIUS holland/flamand* csillagász, térképész, pap (*1552; Pieter Platevoet). Az indiai és a közeli „fűszer-szigetek" biztonságos tengeri útvonalainak elismert szakértője volt. Világtérképet és navigációs útmutatókat adott ki, több mint 100 egyéb térképet rajzolt. Foglalkozott a hengervetületekkel (Mercator-vetítéssel), mint a navigációs térképek célszerű (szögtartó) vetületével. Csillagtérképeket is készített.

(E visszatekintés az 1992-es évkönyvünkben megkezdett, azonos című „sorozat" folytatásának is tekinthető. A szövegben *-gal a születési, †-tel a halálozási évet jelöltük.)

Irodalom:

1. Kovács Győző: Válogatott kalandozásaim Informatikában. Történetek a magyar (és a külföldi) számítástechnika (h)őskorából; Masszi, 2002
2. Pálinkás Tibor: A Rádió Technikától a Rádiótechnikáig; Rádiótechnika Évkönyve 2020, 60-88. o.
3. Pálinkás Tibor: Készítsünk tranzisztort, házilag; Rádiótechnika Évkönyve 2013, 128-138. o.
4. Jacques Piccard: 11 000 m mélységben; Táncsics Könyvkiadó, 1965 (1967)
5. Dr. Fábián Tibor: A tam-tamtól a vezetékes telefonig; Rádiótechnika évkönyve 2018, 103-112. o.
6. Dr. Madarász László: A fény hangjai; Rádiótechnika Évkönyve 2020, 108-118. o.
7. Pálinkás Tibor: Halljuk meg mi is a fény hangjait!; Rádiótechnika 2020/6., 154-156. o., 20207-8, 197-200. o.
8. Szilágyi Gábor: Daguerre – A fényképezés felfedezésének története; Gondolat, 1987
9. Pálinkás Tibor: A méter-sztori III.; Rádiótechnika Évkönyve 2021, 61-75. o.

Valamint számos, a képaláírásokban hivatkozottakon kívül is tanulmányozott, itt külön nem felsorolt netes és nyomtatott forrás.

A HAM-bazárból: V115 típ

Szuper Basszus Zenegép 12.990 Ft

RÁDIÓ: KH / RH / URH PLL szintézeres, érzékeny, nyújtott RH-sávok
MAGNETOFON: beépített mikrofon, line bemenet, felvétel a rádióról
mp3 LEJÁTSZÓ: microSD memóriakártya, max. 32 GB-ost kezel

- sok memóriahely a rádióhoz
- sok funkció a digitális magnetofonhoz és az mp3 lejátszóhoz
- 2 W-os szuper basszus hangzás – nem fog hinni a fülének!
- 1000 mAh-s BL-5C Li-Ion akku (tartozék) + USB töltőkábel
- méret: 120 x 80 x 20 mm; súly: 0,15 kg

Hozzá 8 GB-os memóriakártya: 2.990 Ft

A HAM-bazárból: T-508 típ

Mini Zsebi Zenegép 8.990 Ft

RÁDIÓ: URH FM PLL szintézeres
mp3 LEJÁTSZÓ: microSD mem.-kártya, max. 16 GB-ost kezel
LED-es zseblámpa

- sok memóriahely a rádióhoz
- sok funkció az mp3 lejátszóhoz, felvétel a rádióról
- USB bemenet, mp3 lejátszás USB pendrive-ról is
- 2 W-os, nagy hangerő és 3,5 mm-es fülhallgató kim.
- 800 mAh-s BL-5C Li-Ion akku (tartozék) + töltőkábel
- méret: 100 x 62 x 25 mm; súly: 0,1 kg
- készülékszínek: kék, mélyvörös, fekete (ami éppen van)

Hozzá 8 GB-os memóriakártya: 2.990 Ft

3

Köszönet az elsőknek...

...és mindenkinek, aki szívén viseli lapunk jövőjét! Szeptemberi számunkban és a honlapunkon is olvasható *dr. Gschwindt András* (HA5WH) **„Folytassa Rádiótechnika!"** támogatói felhívása.

Sokan azonnal megértették a kérő szót, és tőlük már be is futottak az első támogatói összegek a Reményi István Rádióamatőr Alapítványhoz. Sajnos, hely hiányában nem vállalkozhatunk arra, hogy nyomtatásban hozzuk majd minden tisztelt támogatónk nevét –, az interneten megtesszük ezt –, de álljon most itt (ábécé-rendben) a leggyorsabban segítők neve:

Békei Ferenc (Bp.), Csabai László (Békéscsaba), Csiszár Julianna (Ráckeve), Debreczeny Ábel (Dunakeszi), Dévényi József (Nyíregyháza), dr. Gschwindt András (Bp.), dr. Holman Tamás (Bp.), drHLF (Bp.), dr. Ijjas Gábor (Bp.), Jakab András (Mátészalka), Juhász Lajosné (Bp.), Juhász Pál (Bp.), Krecsik Tamás, Lambert Miklós (Bp.), Lukács Pál (USA), Mednyánszky László (Vác), Mészáros Ferenc (Zebegény), Minya András (Bp.), Páli Balázs (Agárd), Pálinkás Tibor (Bp.), Regály Gyula (Bp.), Szalai Zoltán (Bp.), Tóth Erzsébet (Budaörs), Tóth Lajos (Bp.).

Kedves Olvasóink mostanában felteszik a kérdést: Hogyan tovább, mi lesz a lappal? Válaszunkban vázoljuk a megoldást hozó *jelen helyzetet* – **új lapgazda, -kiadó, ld. 3. old.**–, és megjegyezzük, hogy *minden támogatás nagy segítséget jelent.* Telefonáló: „Hát, én a bazárban vásárolok, így támogatok..." (Köszönet érte, de azért ennél talán...) Volt, akit sokkolt az indító támogatás összege, mondván: hogy néz ki e mellett az én ötezer... Jeleztük tisztelettel: *Nem versenyről van itten szó, és hálás köszönet minden forintért!*

Folytassa RÁDIÓTECHNIKA!	utalás belföldről	támogatás külföldről
támogatói felhívásunkat lásd a 2021/9. számunk 227. oldalán	Reményi István Alapítvány 11708001-20396990 közl.: Rádiótechnika	Remenyi Istvan Alapitvany IBAN: HU35 11708001-20369990-00000000 BIC(SWIFT)kód: OTPVHUHB közlemény: Radiotechnika

A támogatási akció tovább folytatódik. – Kérjük, addig segítsen, amíg lehet!

maus ELECTRONICS

// Több, mint 4 000 000 termék több, mint 500 gyártótól online elérhető
// Heti két szállítás az USA-ból, Mouser raktárról listaáron, 3 nap alatt extra költség nélkül
// Számlázás forintban vagy euróban
// 50 euró felett ingyenes belföldi kiszállítás

Maus Electronics Kft.
Tel.: +36 1 244 8412, +36 1 244 8413
Mobil: +36 20 777 1080

A Mouser hivatalos magyarországi partnere
MOUSER ELECTRONICS

A Mouser Electronics partnere segítségével könnyebbé válik beszerzési folyamata!

Kérjen ajánlatot most!
hungary@mausel.eu

AVR mikrokontrollerek

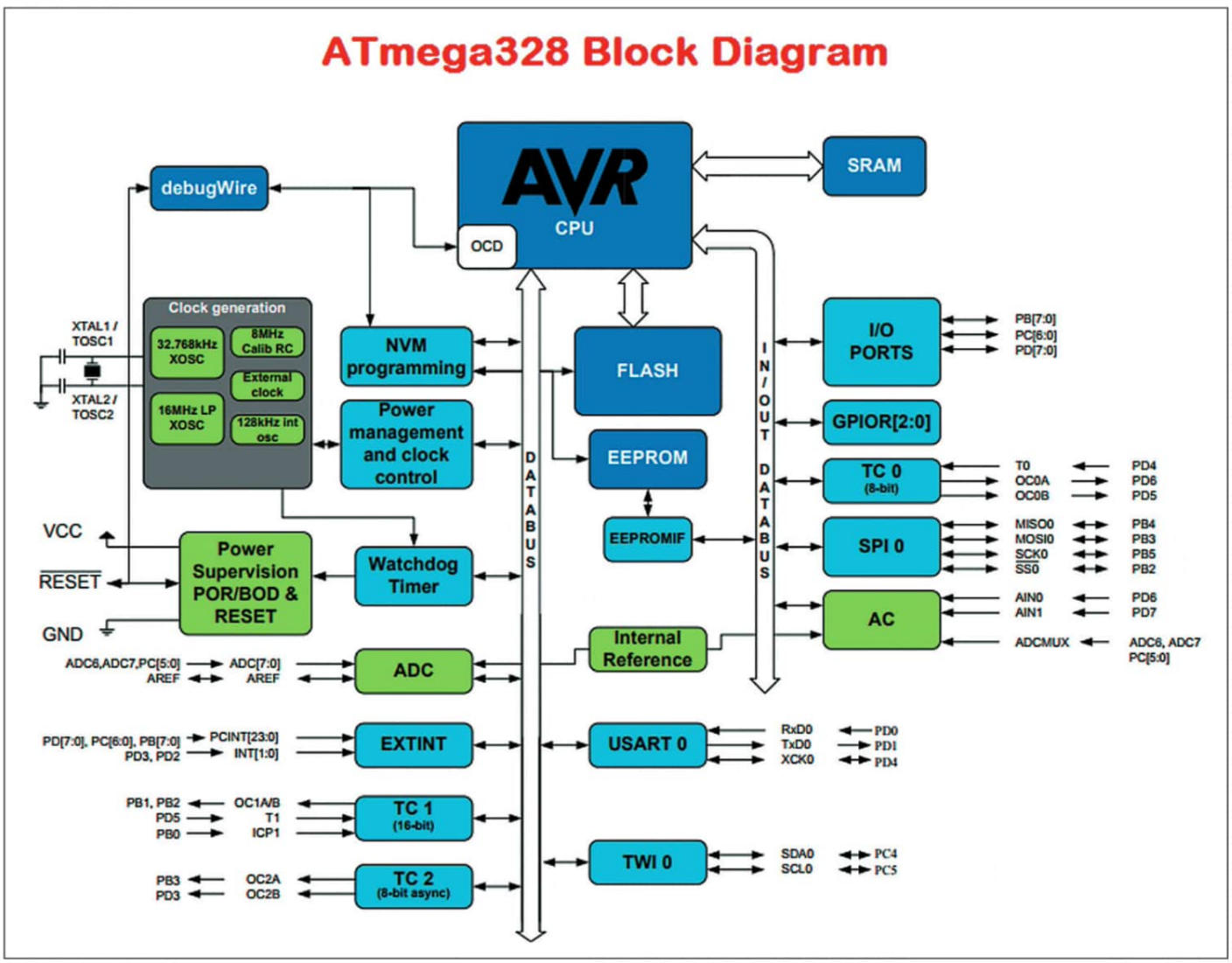
Hriczó István tanár, HA6ZX, ihriczo@gmail.com

A Rádiótechnika hasábjain viszonylag ritkán olvashattunk az Atmel által fejlesztett AVR család tagjairól, magyar nyelvű leírás is inkább csak az alkalmazásukkal kapcsolatban található. Az alkalmazásokból pedig bőven akad: vezérléssel-, méréssel kapcsolatos áramkörök, játékok, rádióamatőr eszközök és egyebek. Ezek a CMOS mikrovezérlők különféle kiépítésben, 6 lábútól a 100 lábúig több változatban kaphatók. Közös jellemzőjük, hogy csekély áramfelvétel mellett kiemelkedő végrehajtási sebességre képesek. A szerző olvasmányai és szerény tapasztalata alapján igyekszik általánosságban bemutatni az AVR mikrovezérlőket, ezek közül is csak a 8 biteseket. Emellett javasolt az adatlapok tanulmányozása, ezek igencsak részletesek, már a legkisebb 6 lábú ATtinyk adatlapja is 176 oldal terjedelmű!

1. Az AVR rövid története

Az AVR története a Trondheimben működő *Norvég Műszaki Intézetben* (NTH) kezdődött. Az intézet két hallgatója, *Alf-Egil Bogen* és *Vegard Wollan* foglalkozni kezdett egy RISC architektúrán alapuló mikroprocesszor felépítésével. Diplomamunkájukat is ebből a témából írták (1990/1991). Megjegyzés: időközben az NTH a *Norwegian University of Science and Technology* (Norvég Tudományos és Műszaki Egyetem) része lett.

A tanulmányok befejezése után Bogen és Wollan a Nordic VLSI-nél (manapság Nordic Semiconductor) helyezkedett el, ahol saját mikrovezérlőik fejlesztésével foglalkoztak. 1996-ban



1. ábra

a Nordic eladta a mikrokontroller jogait az Atmel-nek. Az Atmel akkortájt elsősorban memóriagyártóként volt ismert, de már elkezdett 8051-es stílusú MCU-kat gyártani coloradói gyárában. Természetesen az Atmel vezetői nagy örömmel hallgatták Vegard magyarázatát, miszerint kontrollerük egy RISC gép, amelyet arra terveztek, hogy az utasításokat egy ciklusban hajtsa végre. A munka hamarosan elkezdődött az újonnan alapított leányvállalatnál, az Atmel Norvégiánál. Bogen és Wollan továbbfejlesztette a belső architektúrát és ezt ötvözte az Atmel a memóriákkal kapcsolatos szakértelmével.

A '90-es években lehetővé vált nagyobb memóriák beépítése az áramkörökbe, és ezáltal nagyobb programok írása a mikroprocesszorok számára is. Bogen és Wollan a C nyelvre optimalizált processzort akartak gyártani, amely nyelv ebben az időben kezdett elterjedni a kisebb mikrokontrollerek körében. Ezenkívül a világ leggyorsabb, 8 bites mikrovezérlőit akarták előállítani és gyártani, és ez sikerült is. Végül, természetesen, az összes AVR mikrovezérlőt beépített flash memóriával tervezték, amelyet át lehetett programozni áramköri környezetben is. Az AVR volt az első mikrovezérlő, amelyik a program tárolására flash memóriát használt.

Az AVR 8 bites mikrokontroller-architektúrát 1997-ben vezették be. Az AVR vonalban az elsők között volt az AT90S8515, amely egy 40 lábú DIP tokban ugyanolyan kivezetésekkel rendelkezik, mint egy 8051 mikrovezérlő, beleértve a külső multiplexelt címet és az adatbuszt is. Azonban a RESET polaritása és a mikrovezérlő utasításkészlete eltérő. 2003-ra az Atmel 500 millió AVR flash mikrokontrollert szállított le. Az egyszerű elektronikai projektekhez kifejlesztett Arduino platform 2005-ben jelent meg, és az ATmega8 AVR mikrovezérlőket tartalmazta. 2015 júniusáig több mint 7,3 milliárd AVR csipet gyártottak és adtak el. Akkortájt az eladott AVR csipek száma elérte a Föld lakóinak a számát. Ez a szám majdnem ugyanolyan lenyűgöző, mint a „kis" Atmel Norvégia alig 200 alkalmazottal rendelkező szűk csapata! Vásárlóik között olyan nagy cégek szerepeltek, mint a Google, a Microsoft, a Bosch, a Sony, a Samsung, az LG, a General Motors, a Ford, a Jaguar és a Tesla. Az AVR nagy sikert aratott, amikor az okostelefonok általánossá váltak és a kínai okostelefon-gyártók megjelentek milliós megrendeléseikkel.

Bogen 2013-ban távozott az Atmeltől, majd 2016-ban, miután az Atmelt eladták a Microchip Technology-nak, Wollan is úgy döntött, hogy elhagyja Atmelt.

Az Atmel szerint az AVR név nem rövidítés, és különösebben semmit nem jelent. Alf egy interjúban a következőket nyilatkozta: *„Az AVR mint márkanév eredetileg az Advanced Virtual RISC kifejezést jelentette, de ezt a nevet egy másik vállalat már felvette, még mielőtt az Atmel szabadalmaztatta volna. Most azt mondják, hogy az AVR jelentése Alf-Egil és Vegard RISC".*

2. Atmel AVR 8 bites architektúra (1. ábra)

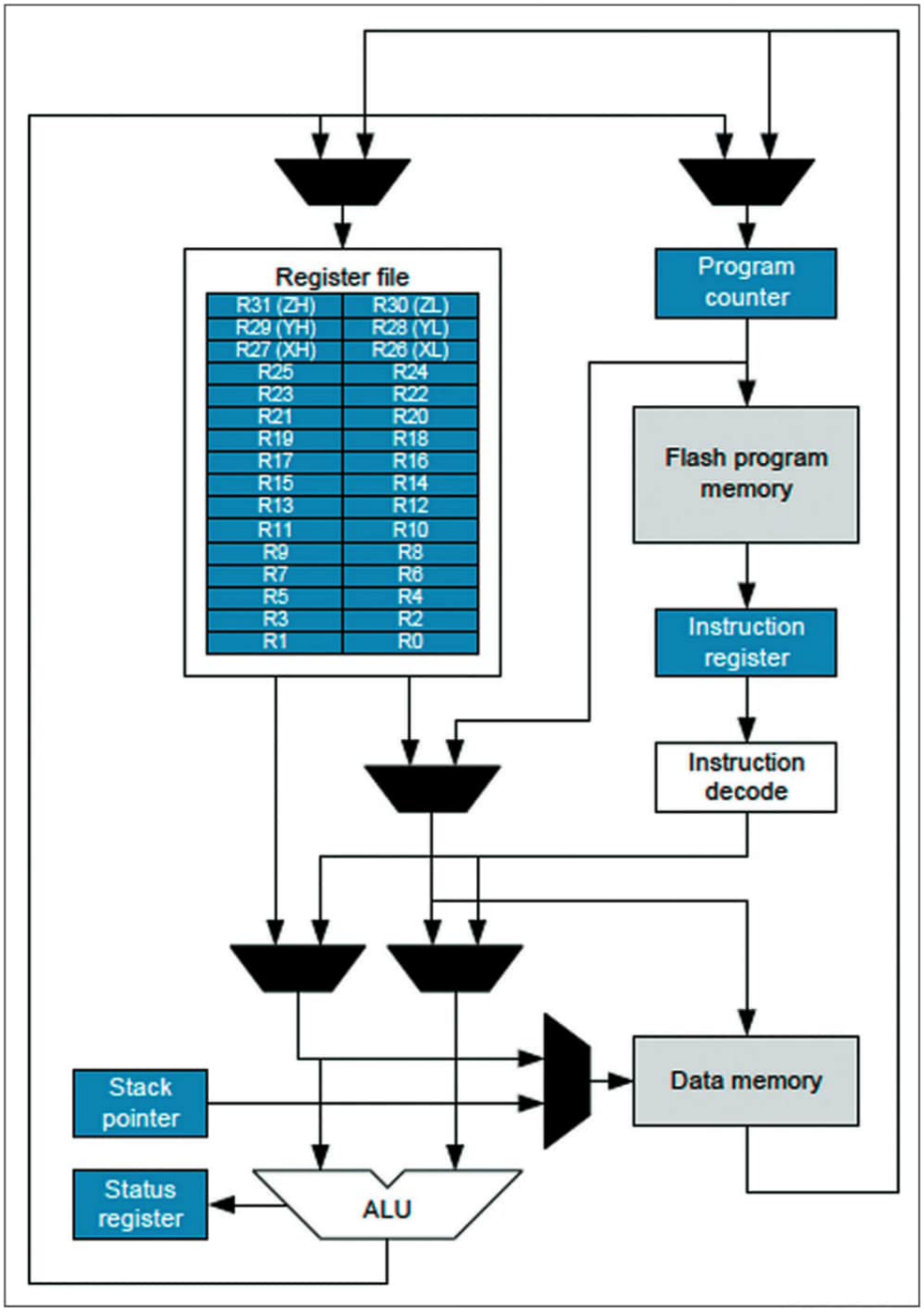
Az AVR egy módosított Harvard architektúrájú gép, ahol a programot és az adatokat külön fizikai memóriarendszerekben tárolják, amelyek különböző címtartományokban jelennek meg, de képesek speciális utasításokkal adatelemeket olvasni a programmemóriából. Gyors hozzáférésű, 32 darab 8 bájtos általános célú munkaregiszterből álló regiszterblokkal rendelkezik, amelynek elérési ideje egyetlen órajelciklus. A 32 munkaregiszter a hatékony C-kódolás egyik kulcsa. Ezek a regiszterek ugyanolyan funkcióval rendelkeznek, mint a hagyományos akkumulátor, azzal a különbséggel, hogy 32 darab van belőlük. Az AVR aritmetikai és logikai utasításai ezeken a regisztereken dolgoznak, ezért kevesebb utasításhelyet foglalnak el. Az AVR egy órajelciklus alatt két tetszőleges regisztert tud továbbítani a regiszterblokkból az ALU-ba, elvégezni egy műveletet, és az eredményt visszaírni a regiszterblokkba.

A programmemóriában levő utasítások végrehajtása egyszintű pipelininggel történik. Miközben egy utasítás végrehajtása folyamatban van, a következő utasítást előre lekérik a program memóriájából. Ez a koncepció lehetővé teszi órajelciklusonként egy utasítás végrehajtását. A legtöbb AVR utasítás egyetlen 16 bites szó formátumú. Minden programmemória-cím egy 16 vagy 32 bites utasítást tartalmaz. Az aritmetikai és logikai műveletek ezen egyciklusú végrehajtásának köszönhetően az AVR alapú MCU-k képesek megahertzenként közel 1 MIPS (Million Instructions per Second) teljesítésére.

2.1. CPU (processzor)

Az AVR CPU-ja hasonló, de sokkal egyszerűbb, mint ami a számítógépeknél használatos. A CPU fő feladata a program helyes végrehajtásának biztosítása. A CPU-nak tehát képesnek kell lennie a memóriák elérésére, a számítások elvégzésére, a perifériák vezérlésére és a megszakítások kezelésére. Az AVR CPU magja (**2. ábra**) a következőkből áll:

- Az *ALU* hajtja végre a regiszterek közötti vagy egy konstans és egy regiszter közötti aritmetikai és logikai műveleteket. Az egy órajelciklusos hozzáférési idő lehetővé teszi az egyciklusos ALU-műveleteket. Egy tipikus ALU-műveletben két operandus kerül ki a regiszterfájlból, a művelet végrehajtása és az eredmény visszatárolása a regiszterfájlba még ugyanabban az órajelciklusban megtörténik. Az ALU-ban egyregiszteres műveleteket is végre lehet hajtani. Egy aritmetikai művelet után a Status regiszter frissül, hogy tükrözze a művelet eredményére vonatkozó információkat. A programfutást feltételes és feltétel nélküli ugró és hívó utasítások biztosítják, amelyek képesek a teljes címtartomány közvetlen címzésére.
- *General Purpose Registers* (általános célú regiszterek). A gyors hozzáférésű regiszterblokk 32 darab 8 bites általános célú munkaregisztert tartalmaz, egy órajelciklusos hozzáférési idővel. A 32 regiszterből hat felhasználható három 16 bites indirekt címregiszter-mutatóként az adatterület címzéséhez, lehetővé téve a hatékony címszámítást (X, Y, és Z regiszter). Ezek egyike a Flash programmemóriában található keresési táblákhoz is használható címmutatóként. Az AVR regiszterblokk szerkezete az AVR Enhanced RISC utasításkészlethez van optimalizálva. A regiszterblokkban működő utasítások többségének közvetlen hozzáférése van az összes regiszterhez, és többségük egyciklusú utasítás. Minden regiszterhez adatmemória-címet is rendelnek, közvetlenül a felhasználói adattér első 32 helyéhez hozzárendelve őket. Annak ellenére, hogy fizikailag nem ennek az SRAM-nak a részeként valósítják meg, ez a memóriaszervezés nagy rugalmasságot biztosít a regiszterek elérésében, mivel az X, Y és Z regiszterek beállíthatók a blokk bármelyik regiszterének indexelésére.
- *Program Counter* (programszámláló). Megszakítások és szubrutinhívások során a visszatérési cím a Program Counter (PC) veremben tárolódik.



2. ábra

A verem ténylegesen az általános adat SRAM-ban van allokálva, következésképpen a verem méretét csak a teljes SRAM mérete és az SRAM használata korlátozza.

• *Instruction Register* (utasításregiszter) az a regiszter, ahol az utasítás opkódját ideiglenesen tárolják.

• *Instruction Decoder* (utasításdekóder) dekódolja az utasítás opkódját az utasításregiszterből, és generál megfelelő vezérlőjeleket az utasítás végrehajtásához.

• *Status Register* (állapotregiszter). A Status regiszter a legutóbb végrehajtott aritmetikai utasítás eredményéről tartalmaz információt. Ez az információ felhasználható a programfolyamat feltételes műveletek végrehajtása általi megváltoztatására. Az állapotregiszter az összes ALU művelet után frissül. Ez sok esetben szükségtelenné teszi a dedikált összehasonlító utasítások használatát, miáltal gyorsabb és kompaktabb kódot eredményez.

• *Stack Pointer* (SP) (veremmemória-mutató). A verem elsősorban ideiglenes adatok, helyi változók, megszakítások és alprogramhívások utáni visszatérési címek tárolására szolgál. Úgy valósul meg, hogy a magasabb memóriahelyekről az alacsonyabbakra növekszik. A Stack Pointer regiszter mindig a verem tetejére mutat; az adat SRAM veremterületére mutat, ahol a szubrutin és megszakítás verem található.

3. A memóriákról

A Harvard architektúra miatt a Flash programmemória a statikus véletlen hozzáférésű memóriáétól (SRAM) elkülönített címbuszon van. Két adatbusz van, az egyik az összes adathoz hozzáférhet, a másik, az In/Out adatbusz, korlátozott hozzáférést biztosít a memória egy kis részéhez.

3.1. Programmemória

Az AVR mikrokontrollerek csipen belüli, rendszeren belül programozható Flash memóriát tartalmaznak a programok tárolásához. A programkód tárolására használt Flash 16 bit szélességű és nem felejtő, ami azt jelenti, hogy a tartalom akkor is megmarad, ha az eszköz nem működik. Az alkalmazáskód tárolása mellett azonban jó hely állandók, például keresőtáblák vagy karakterláncok elhelyezésére. A Flash programmemória két részre oszlik. Az első szakasz az Application Flash Section. Itt tárolják az AVR programját. A második részt Boot Flash Section-nek hívják, ide lehet beírni az ún. bootloadert. Mindkét szakasz külön Lock bitekkel rendelkezik az írás és az olvasás védelme érdekében. A Flash nem érhető el olyan gyorsan, mint az adatmemória, és az egyes bájtok nem módosíthatók egyszerre, így nem megfelelő hely a folyamatosan változó adatok tárolására. Fontos megjegyezni, hogy az AVR Flash-memória jellemzően legalább 10 000 írási/törlési ciklust bír ki.

3.2. EEPROM (adatmemória)

Az elektromosan törölhető, programozható, csak olvasható adattároló (EEPROM) külön adatterületként szerveződik, amelyben az egyes bájtok egyenként olvashatók és írhatók. A CPU-ból az EEPROM-hoz való hozzáférés az EEPROM címregisztereken, az EEPROM adatregiszteren és az EEPROM vezérlőregiszteren keresztül történik. Olyan, mint a flash tároló, azzal a különbséggel, hogy nem futtatható róla program, de hosszú távú tárolásra alkalmas. Az EEPROM-ot gyakran használják olyan adatok tárolására, amelyek ritkán változnak, például valamilyen konfigurációs információ, amelyet a program használ. Az EEPROM hozzáférési idők általában hosszabbak, mint más típusú memóriák esetén. Az AVR EPPROM-jának élettartama is korlátozott, legalább 100 000 írási/ tör-

lési ciklus garantált, az olvasások száma korlátlan.

3.3. SRAM (adatmemória)

Az SRAM a szoftveralkalmazáson belüli köztes eredmények és változók ideiglenes tárolására szolgál. Itt helyezkedik el az elsősorban a visszatérési címek tárolására szolgáló veremmemória, továbbá a regiszterek és az I/O memória is. A SRAM 8 bit széles és felejtő, ezért az indításkor a tartalmat nem definiáltnak kell tekinteni, amíg a program kifejezetten nem inicializálja az általa használt helyeket.

Az adatok a szabványos adatbuszon keresztül érhetők el. Egyes kiválasztott helyek gyors közvetlen eléréséhez egy másodlagos I/O busz is rendelkezésre áll.

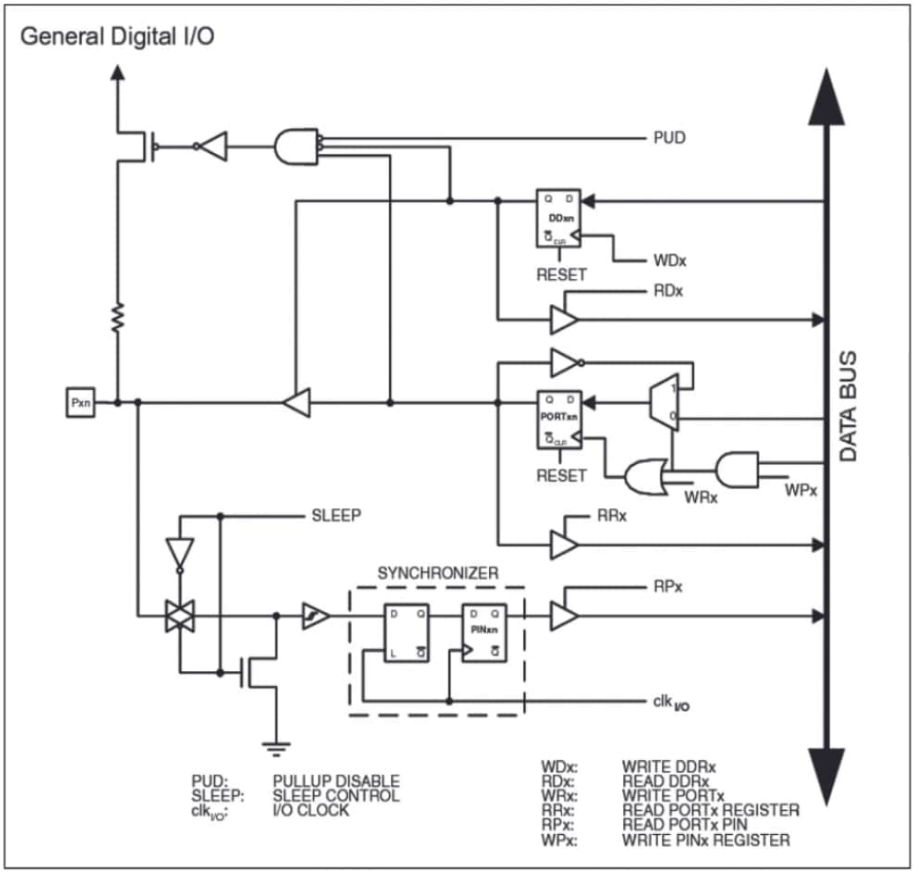
4. Digital Input/Output Ports (digitális be/kimeneti portok; 3. ábra)

Az AVR 8 bites mikrovezérlők digitális bemeneti és kimeneti (I /O) kivezetéseiken keresztül vezérlik az alkalmazásokat. Ezek a kivezetések nagy impedanciájú bemenetként figyelemmel kísérhetik a rajtuk jelenlevő feszültséget, illetve magas vagy alacsony logikai szintű digitális kimenetként viselkedhetnek. Ezeket a kivezetéseket általában nyolcas csoportokba rendezik, és portoknak nevezik. Az AVR az ábécét használja ezeknek a portoknak a megnevezésére, például: *PortA*, *PortB* stb. A *PortA* kivezetéseit *PA0–PA7*-nek nevezik.

4.1. Áttekintés

Valamennyi AVR port valódi Read-Modify-Write (olvasás-módosítás-írás) funkcióval rendelkezik, ha általános digitális I/O portként használják. Ez azt jelenti, hogy bármelyik port kivezetéseinek iránya megváltoztatható anélkül, hogy ezzel akaratlanul megváltoztatná bármelyik másik irányát. Ugyanez vonatkozik a kimenet értékének megváltoztatására (ha kimenetként van konfigurálva) vagy a felhúzó-ellenállások engedélyezésére/letiltására (ha bemenetként van konfigurálva). Mindegyik kimeneti puffer szimmetrikus kimeneti jellemzőkkel rendelkezik, mind a *GND*, mind V_{cc} irányban.

A kimeneti meghajtó elég robusztus ahhoz, hogy közvetlenül meghajtsa a LED-kijelzőket. Valamennyi csatlakozó egyedileg választható felhúzó-ellenállással rendelkezik, ezek értéke tápfeszültségtől függetlenül állandó. Valamennyi I/O érintkező rendelkezik V_{cc}-re és *GND*-re csatlakozó védődiódákkal.



3. ábra

4.2. Regiszterek

Ezek a regiszterek határozzák meg a digitális bemenetek és kimenetek beállítását. A regiszterek a program futása során megváltoztathatók, ezek értéke határozza meg, hogy egy kivezetés kimenet, vagy bemenet lesz. Kimenetként használva értéke alacsony, vagy magas legyen. Bemenetként használva aktiválhatjuk a felhúzó-ellenállást. Az I/O kivezetések belső perifériákkal is megoszthatók. Például az analóg-digitális átalakító (ADC) csatlakoztatható valamelyik I/O lábhoz a digitális kivezetés helyett. Ebben az esetben a regiszterek a kivezetést háromállapotú nagy impedanciájú bemenetként állítják be. A portok állapotáról a PINx regiszterek olvasásával szerezhetünk tudomást.

Ha néhány lábat nem használunk, célszerű ezeket meghatározott szintre állítani, erre a legegyszerűbb módszer a belső felhúzó-ellenállás engedélyezése. *A használaton kívüli lábak közvetlen csatlakoztatása a V_{cc}-hez vagy a GND-hez NEM ajánlott, mivel ez túlzott kimenőáramhoz vezethet, ha a lábat véletlenül kimenetként konfigurálják!*

5. Alacsony fogyasztású alvó üzemmódok

A 8 bites AVR mikrovezérlők számos alvási módot tartalmaznak, amelyek lehetővé teszik az alkalmazás számára, hogy az MCU nem használt moduljait lekapcsolja, ezáltal energiát takarít meg. Az AVR eszköz különböző alvó üzemmódokat biztosít, amelyek lehetővé teszik, hogy az energiafogyasztást az alkalmazás követelményeihez igazítsa. Öt alvó üzemmód közül lehet választani:

- Idle Mode (Üresjárati mód)
- Power Down (Kikapcsolás)
- Power Save (Energia takarékos mód)
- Standby (Készenlét)
- Extended Standby (Kiterjesztett készenlét)

Az alvó üzemmódok bármelyikébe való belépéshez az alvó üzemmód vezérlő regiszterben (SMCR.SE) az alvó üzemmód engedélyező bitet **1**-re kell írni, és egy SLEEP utasítást kell vég-

rehajtani. Az alvó üzemmód kiválasztó bitek (SMCR.SM[2:0]) választják ki, hogy a SLEEP utasítás melyik alvó üzemmódot aktiválja.

Ha az MCU alvó üzemmódban van, és egy engedélyezett megszakítás (Interrupt) lép fel, az MCU felébred. Ekkor az MCU az indítási időn kívül négy ciklusra megáll, végrehajtja a megszakítási rutint, és a SLEEP-et követő utasítástól folytatja a végrehajtást. A regiszterblokk és az SRAM tartalma nem változik, amikor az eszköz alvó állapotból felébred. Ha alvó üzemmódban reset történik, az MCU felébred, és a Reset-vektort hajtja végre.

5.1. Idle Mode

Ez az üzemmód leállítja a CPU-t, de lehetővé teszi a soros perifériás interfész (SPI), az univerzális szinkron/aszinkron vevő/adó (USART), az analóg komparátor, a kétvezetékes soros interfész, az időzítő/számláló, a Watchdog és a megszakítási rendszer további működését. Ez az alvó üzemmód alapvetően leállítja a CPU órajelét (clkCPU) és a Flash órajelét (clkFLASH), miközben a többi órajelet tovább működteti.

Az MCU felébredhet a külső és a belső megszakításokból, mint például az időzítő túlcsordulás és az USART Transmit Complete megszakítások. Ha nincs szükség az analóg komparátor megszakításából történő ébresztésre, az analóg komparátor kikapcsolható, ez csökkenti az energiafogyasztást üresjárati üzemmódban.

5.2. Power-Down mode

Ebben az üzemmódban a külső oszcillátor leáll, míg a külső interrupt, a kétvezetékes soros interfész cím figyel és a Watchdog tovább működik (ha engedélyezve van). Csak ezek közül az események közül valamelyik ébresztheti fel az MCU-t:

- Külső Reset
- A Watchdog System Reset
- Watchdog Interrupt
- Brown-out Reset
- 2-vezetékes soros interfész cím egyezés
- Külső INT
- Pcint

Ez az alvó üzemmód alapvetően leállítja az összes generált órajelet, és csak az aszinkron modulok működését teszi lehetővé.

Megjegyzés: ha a kikapcsolásból való ébredéshez szintmegszakítást használnak, a szükséges szintet elég sokáig kell tartani ahhoz, hogy az MCU befejezze az ébredést a szintmegszakítás kiváltásához. Ha a szint eltűnik az indítási idő vége előtt, az MCU még felébred, de nem generál megszakítást. Az indítási időt a *Start Up Timer* (*SUT*) és az *Clock Select* (*CKSEL*) biztosíték határozza meg.

A Power-Down üzemmódból való felébredéskor az ébresztési feltétel bekövetkezésétől az ébresztés érvénybe lépéséig késleltetés van. Ez lehetővé teszi az óra újraindítását és stabilizálódását a leállás után. Az ébredési időszakot ugyanazok a *CKSEL* biztosítékok határozzák meg, mint a Reset Time-out időszakot.

5.3. Power-save Mode

Ez az üzemmód megegyezik a Power Down funkcióval, egy kivétellel: ha a *Timer/Counter2* (*TC2*) engedélyezve van, akkor alvás közben is futni fog.

Az eszköz fel tud ébredni akár az időzítő túlcsordulása, akár a *Timer/Counter2* kimeneti összehasonlítás eseménye esetén, ha a megfelelő *Timer/Counter2* megszakítás engedélyező bitek be vannak állítva az időzítő megszakítás maszk regiszterben (*TIMSK2*), és a globális megszakítás engedélyező bit az állapotregiszterben (*SREG*) be van állítva. Ha a *TC2* nem fut, a Power-save üzemmód helyett a Power-down üzemmód ajánlott.

A *TC2* szinkron és aszinkron módon is órajelezhető Power-save üzemmódban. Ha a *TC2* nem a szinkronórát használja, az óraforrás alvás közben leáll. Még akkor is, ha a szinkronóra fut Power-save üzemmódban, ez az óra csak a *Timer/Counter2* számára áll rendelkezésre.

5.4. Standby Mode

Ez az üzemmód megegyezik a Power-Down üzemmóddal, azzal a különbséggel, hogy az oszcillátor továbbra is működik. A Standby üzemmódból az eszköz hat órajelciklus alatt ébred fel.

5.5. Extended Standby Mode

Ez az üzemmód megegyezik a Power-Save üzemmóddal, azzal a különbséggel, hogy az oszcillátor továbbra is üzemben marad. A kiterjesztett készenléti módból az eszköz hat órajelciklus alatt ébred fel.

6. Tippek és trükkök az energiafogyasztás minimalizálására

Több lehetőséget is figyelembe kell venni, amikor egy AVR vezérelt rendszerben az energiafogyasztás minimalizálására törekszünk. Általánosságban elmondható, hogy az alvó üzemmódokat a lehető legtöbbször kell használni, és az alvó üzemmódot úgy kell kiválasztani, hogy az eszköz minél kevesebb funkciója működjön. Minden olyan funkciót, amelyre nincs szükség, le kell tiltani.

A következő modulok igényelhetnek különös figyelmet, amikor a lehető legalacsonyabb energiafogyasztás elérésére törekszünk.

6.1. Analóg-digitális átalakító

Ha engedélyezve van, az ADC minden alvó üzemmódban engedélyezve lesz. Az energiatakarékosság érdekében az ADC-t minden alvó üzemmódba való belépés előtt le kell tiltani. Az ADC ki- és bekapcsolásakor a következő konverzió egy kiterjesztett konverzió lesz.

6.2. Analóg komparátor

Az üresjárati üzemmódba (Idle mode) való belépéskor az analóg komparátort le kell tiltani, ha nem használják. Az ADC zajcsökkentő üzemmódba való belépéskor az analóg komparátort le kell tiltani! Más alvó üzemmódokban az analóg komparátor automatikusan kikapcsol. Ha azonban az analóg komparátor úgy van beállítva, hogy a belső feszültségreferenciát használja bemenetként, az analóg komparátort minden alvó üzemmódban le kell tiltani. Ellenkező esetben a belső feszültségreferencia alvó üzemmódtól függetlenül engedélyezve lesz.

6.3. Brown-Out Detector

Ha az alkalmazásnak nincs szüksége a *Brown-Out Detectorra* (*BOD*), ezt a modult ki kell kapcsolni. Ha a *BOD* a *BODLEVEL* biztosítékokkal engedélyezve van, akkor minden alvó üzemmódban engedélyezve lesz, és így mindig fogyaszt. A mélyebb alvó üzemmódokban ez jelentősen hozzájárul a teljes áramfelvételhez.

6.4. Internal Voltage Reference

A belső feszültségreferencia akkor aktiválódik, ha a *Brown-Out Detection*,

az analóg komparátor vagy az analóg-digitális átalakító igényli. Ha ezek a modulok a fenti szakaszokban leírtak szerint ki vannak kapcsolva, akkor a belső feszültségreferencia ki lesz kapcsolva, és nem fogyaszt áramot. Újbóli bekapcsolásakor a felhasználónak hagynia kell, hogy a referencia beinduljon, mielőtt a kimenetet használná. Ha a referencia bekapcsolva marad az alvó üzemmódban tartva, a kimenet azonnal használható.

6.5. Watchdog Timer

Ha az alkalmazásban nincs szükség a *Watchdog Timer*re, a modult ki kell kapcsolni. Ha a *Watchdog Timer* engedélyezve van, akkor minden alvó üzemmódban engedélyezve lesz, és így mindig fogyaszt áramot. A mélyebb alvó üzemmódokban ez jelentősen hozzájárul a teljes áramfelvételhez.

6.6. Port Pins

Alvó üzemmódba lépéskor az összes port kivezetéseit úgy kell beállítani, hogy minimális energiát használjon. A legfontosabb ilyenkor annak biztosítása, hogy egyetlen láb se okozzon rezisztív terhelést. Azokban az alvó üzemmódokban, ahol mind az I/O órajel, mind az ADC órajel le van állítva, a készülék bemeneti pufferei le lesznek tiltva. Ez biztosítja, hogy a bemeneti logika nem fogyaszt áramot, ekkor nincs rá szükség. Bizonyos esetekben a bemeneti logikára szükség van az ébresztés észleléséhez, ekkor engedélyezni kell. Ha a bemeneti puffer engedélyezve van, és a bemeneti jel lebeg, vagy ha analóg jelszintje közel van a $V_{cc}/2$ értékhez, akkor a bemeneti puffer túlzott energiát fog használni. Analóg bemeneti lábak esetén a digitális bemeneti puffert mindenkor le kell tiltani!

6.7. On-chip Debug System

Ha az On-chip hibakeresési rendszert a *DWEN* biztosíték engedélyezi, és a csip alvó üzemmódba lép, akkor a fő órajelforrás engedélyezve van, és ezért mindig energiát fogyaszt. A mélyebb alvó üzemmódokban ez jelentősen hozzájárul a teljes áramfogyasztáshoz.

7. AVR biztosítékok

Az *AVR* biztosítékok (*AVR* Fuses) azok a helyek a nem felejtő memóriában, amelyek meghatározzák az AVR eszköz hardverkonfigurációját.

A biztosítékokat a memória kiválasztott részében helyezik el, és néhány regiszterből állnak. A regiszter minden bitje más és más biztosíték-beállítást jelent. Részletes információk arról, hogy mely biztosítékok állnak rendelkezésre a különböző programozási módokban és azok funkciói megtalálhatók az eszköz adatlapján. A legtöbb eszközön elérhető biztosítékbeállítások közül csak néhány fontosabb: az óragenerátor, a Watchdog időzítő és a hibakeresési mód, a különböző memóriák, a *BOD* feszültségszint.

A biztosítékokat programozáskor lehet megváltoztatni a csatlakoztatott programozóval. Fontos, hogy a biztosítékbiteket csak akkor szabad megváltoztatni, ha a program és az EEPROM írása befejeződött. A biztosítékok kezelése erősen programfüggő.

A biztosítékbitek megváltoztatása nagy odafigyelést és a kontroller kellő ismeretét igényli, a kezdő programozó számára nem ajánlott. Előfordulhat, hogy egy bit megváltoztatása lehetetlenné teheti az MCU programozását, vagy a hibakeresést.

Bizonytalanság esetén hasznos lehet az interneten található valamelyik Fusebit Calculator tanulmányozása [1].

8. AVR programozó interfészek

8.1. Nagyfeszültségű soros/párhuzamos interfészek

Az összes AVR-alapú Tiny és Mega eszközök (lásd lentebb a kivételeket) tartalmaznak HVPP (High Voltage Parallel Programming) vagy HVSP (High Voltage Serial Programming) programozási felületet. Mindkettőhöz „magas feszültség” (12 V) alkalmazása szükséges a *Reset* lábra, és mindkettőhöz nagy számú – a HVPP interfészhez legalább 16, míg a HVSP interfészhez legalább 8 – érintkezőre van szükség. Ezen okok miatt ezeket az interfészeket elsősorban az eszközök gyártási programozására használják. A nagyfeszültségű soros üzemmód néhány olyan eszközben is használható, ahol a resetet a biztosítékok letiltották. A nagyfeszültségű párhuzamos programozást „végső megoldásnak” tekintik, és ez lehet az egyetlen módja annak, hogy kijavítsák az AVR csip biztosítékainak hibás beállításait.

A HVPP vagy a HVSP interfészek mindig engedélyezve vannak, ezeket nem lehet véletlenül sem biztosíték-beállítással, sem felhasználói művelettel letiltani. Sajnos, szinte soha nem jelentenek reális programozási lehetőséget, ha egy Tiny vagy Mega be van forrasztva egy áramköri lapra, mert a használatukhoz egyszerűen túl sok lábra van szükség.

8.2. ISP/JTAG

A HVPP vagy HVSP interfészek mellett szinte az összes (lásd a következő pontot) Tiny és Mega eszköz tartalmaz egy vagy két „szokásos” programozási felületet is, azaz *ISP*-t vagy *JTAG*-et. Az ISP (áramkörön belüli soros programozás) lehetővé teszi a programmemória újraprogramozását a rendszeren belül egy *SPI* soros interfészen keresztül. Mindaddig, amíg az AVR *SPI* lábai nem kapcsolódnak semmi zavaró dologhoz, az AVR csip a nyákba forrasztva maradhat, miközben újraprogramozzák. Csak egy 6 tűs csatlakozóra és programozó adapterre van szükség. Ez a leggyakoribb módszer az AVR MCU-k programozásra.

8.3. Kivételek

A Tiny4/5/9/10/20/40 eszközök nem rendelkeznek HVPP vagy HVSP interfésszel, csak TPI-jük van (Tiny Programming Interface). Az olyan újabb eszközök, mint a Tiny417/817/1617 csak *UPDI*-vel (Unified Program and Debug Interface) rendelkeznek.

Az Xmega eszközök csak *PDI*-t (programozási és hibakeresési felület) vagy *PDI* és *JTAG* interfészt is tartalmaznak. Nem tilthatja le a *PDI* interfészt, amennyiben hozzáfér az egyetlen *PDI* lábhoz, amelyet más funkciókhoz nem lehet használni, és a *Reset* lábhoz.

8.4. PDI

A *Program and Debug Interface* (*PDI*) egy Atmel saját felület az XMEGA eszközök külső programozásához és csipen belüli hibakereséséhez. A *PDI* támogatja az összes nem felejtő memória (NVM) hely nagysebességű programozását; flash, EEPROM, biztosítékok, reteszelő bitek és a Felhasználói aláírás sor. A *PDI* egy 2 tűs interfész, amely a *Reset* kivezetést használja az órajel-bemenetéhez (*PDI_CLK*), és egy dedikált adat kivezetést (*PDI_DATA*) az adatbemenethez és -kimenethez.

9. Bootloader

Számos AVR eszköz esetében a prog-

rammemória Bootloader része támogatja a valódi írás-olvasás önprogramozást. Ez a szolgáltatás lehetővé teszi az MCU által vezérelt rugalmas alkalmazásszoftver-frissítéseket a Flash-rezidens Bootloader program segítségével. A Bootloader program bármely rendelkezésre álló adatfelületet és a hozzá tartozó protokollt használhatja a kód beolvasására és a program beírására (programozására) a Flash memóriába, vagy a programmemória kiolvasására. A Bootloader részben található programkód képes a teljes Flash-be írni, beleértve a Bootloader memóriát is. A Bootloader így akár önmagát is módosíthatja, és kitörölheti magát a kódból is, ha a funkcióra már nincs szükség.

10. Watchdog Timer

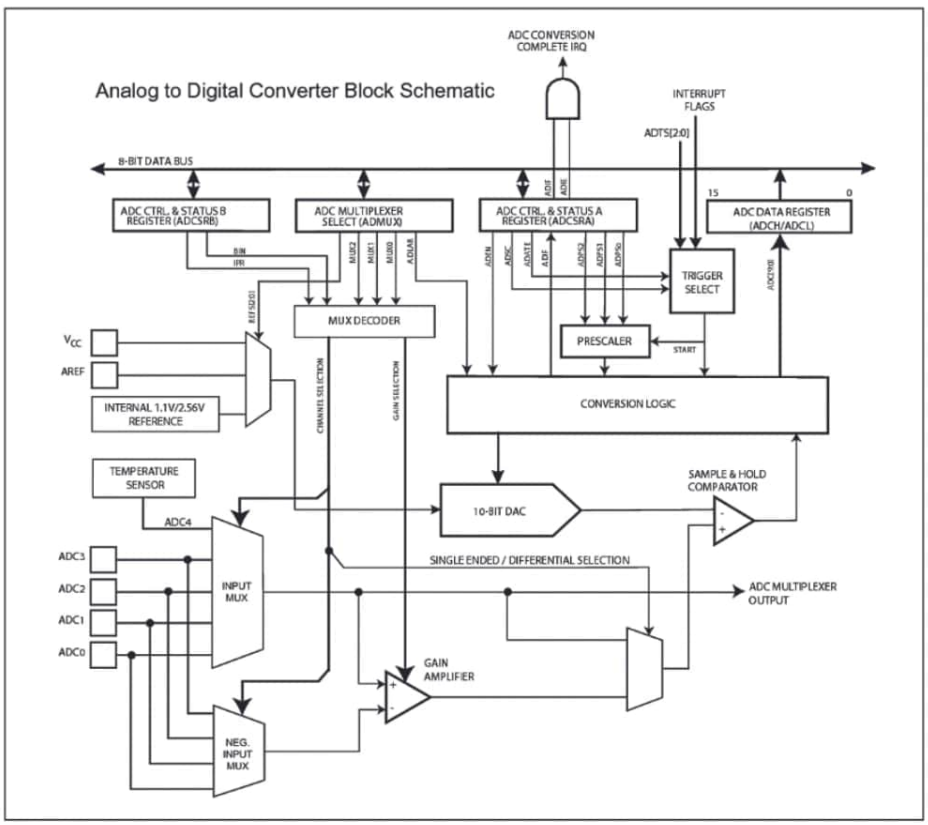
Az AVR eszközökben van egy *Enhanced Watchdog Timer* (*WDT*), amely a rendszerórától független külön oszcillátoron fut. A *WDT* lényegében egy számláló, amely a csipen levő 128 kHz-es oszcillátor órajelciklusai szerint növekszik. A *WDT* megszakítást vagy rendszer-visszaállítást kényszerít ki, amikor a számláló elér egy adott időbeli értéket. Normál üzemmódban az alkalmazáskódnak ki kell adnia egy *Watchdog Timer Reset* (*WDR*) utasítást a számláló újraindításához, mielőtt az időkorlát értéket elérné. Ha a rendszer nem indítja újra a számlálót, akkor megszakítás vagy rendszer-visszaállítás kerül kiadásra.

WDT jellemzők:

- különálló oszcillátorról vezérelt,
- választható időkorlát 16 ms-tól 8 s-ig,
- opcionális hardver biztosíték,
- a Watchdog mindig be van kapcsolva (WDTON) a hibamentes üzemmódhoz.

Három üzemmód létezik:

- Interrupt. *Interrupt* módban a WDT megszakítást kényszerít ki, amikor az időzítő lejár. Ez a megszakítás használható a készülék bármelyik alvó üzemmódból való ébresztésére, valamint általános rendszeridőzítőként is
- System Reset. *System Reset* módban a WDT visszaállítást kényszerít ki, amikor az időzítő lejár. Ezt általában a rendszer lefagyásának megakadályozására használják.
- Interrupt and System Reset. Az *Interrupt and System Reset* mód úgy ötvözi a másik két módot, hogy először megszakítást kényszerít ki, majd átvált a rendszer alaphelyzetbe állítására. Ez az üzemmód biztonságos leállást kínál, mivel időt biztosít a kritikus paraméterek mentésére a rendszer visszaállítása előtt.



4. ábra

11. USART

A 8-bites AVR mikrokontrollerek rendkívül rugalmas kommunikációs perifériát tartalmaznak, amelyet USART néven ismerünk (univerzális szinkron és aszinkron soros vevő és adó). Az AVR eszközök legalább egy, néha több USART blokkal is rendelkeznek. Ez a periféria sokféle más alkatrésszel használható, többek között más mikrovezérlőkkel, vezeték nélküli modulokkal, LCD-kkel, GPS modulokkal stb. Az USART periféria két fő mód egyikében működhet: *szinkron* vagy *aszinkron*.

A *szinkron soros kommunikációt* jellemzően olyan rendszerekben használják, amelyekben egyetlen mester és egy vagy több szolga van. A mestereszköz tartalmazza az adatátviteli sebesség generálásához szükséges áramköröket, és a rendszerben levő összes eszköz számára biztosítja az órajelet. A szolgaeszközök a belső órajel-generáló áramkörök kiiktatásával kihasználhatják a master órajel előnyeit. Szinkron üzemmódban két jelvezeték van (kétirányú adat, egyirányú óra).

A szolgák a mester által biztosított külső órajelet használják a soros adatok áthelyezésére a megfelelő vételi és adási regiszterekbe, ill. az azokból történő kiolvasásra. Mivel az adatvonal kétirányú, a szinkron működés csak félduplex. A félduplex kifejezés arra a tényre utal, hogy a master és a slave eszközök képesek fogadni és továbbítani az adatokat, de nem mindkettőt egyszerre. Az USART mesterként vagy szolgaként is működhet. A szinkron adásokhoz általában nincs szükség Start és Stop bitekre.

Az *aszinkron kommunikáció*ban is két kivezetést használnak. Az egyik az adás (*TxDn*), a másik pedig a vétel (*RxDn*). Az egyik eszköz *TxDn*-je csatlakozik a másik eszköz *RxDn*-jéhez. Minden karakterátvitel egy Start bittel kezdődik, amelyet öt-kilenc adatbit követ, és amelyeket mindig egy vagy több Stop bit zár le. A Start bit mindig „space” (szünet), a Stop bitek pedig mindig „mark” (jel) szintűek a vonatkozó szabvány szerint.

12. AVR analóg-digitális átalakítók (4. ábra)

Az ADC az analóg-digitális konverter rövidítése. Az elektronikában az ADC olyan eszköz, amely az analóg jelet, mint az áramot és a feszültsé-

get, digitális kóddá alakítja. A valós világban a jelek többsége analóg, viszont a mikrovezérlő vagy mikroprocesszor a bináris vagy digitális nyelvet érti meg. Tehát ahhoz, hogy a mikrovezérlők megértsék az analóg jeleket, azokat digitális formává kell alakítanunk. Az ADC pontosan ezt teszi meg helyettünk.

A különféle analóg érzékelők, amelyek mérik a hőmérsékletet, a fény intenzitását, a távolságot, a pozíciót és az erőt, stb. jeleit is az ADC segítségével tudjuk feldolgozni.

Az AVR mikrovezérlők többsége egy 10 bites analóg-digitál átalakítót tartalmaz. A konvertálásra típustól függően több csatorna használható, ezek általában valamelyik portot foglalják el.

Az ADC modul tartalmaz egy előosztót, amely a rendszer órajelét elfogadható ADC órajel-frekvenciára osztja le. Az előosztó osztási tényezőjét az ADPS bitek segítségével lehet konfigurálni. A részleteket lásd a kiválasztott eszköz adatlapjának ADC szakaszában.

Az ADC-nek két alapvető ütemezési módja van: Single Conversion és Free Running. Az alapértelmezett *Single Conversion* (egyetlen konverzió) módban mindig el kell indítani az egyes konverziókat. Ha a konvertálás megtörtént, az eredmény az *ADC Data* regiszterpárba kerül, és nem indul új konvertálás. Ha a konverzió alatt egy másik adatcsatorna kerül kiválasztásra, az ADC befejezi az aktuális konverziót, mielőtt végrehajtaná a csatornaváltást. Auto Triggering Mode-ban (automatikus indítási módban) a konverziót különböző források automatikusan is kiválthatják. Az automatikus indítást az ADC Auto Trigger Enable bit aktiválásával lehet engedélyezni. A kiváltó forrást az ADC Trigger Select bitek beállításával lehet kiválasztani.

Amikor a kiválasztott triggerjelen pozitív él lép fel, az ADC megkezdi a konvertálást. Ez lehetőséget nyújt a konverziók rögzített időközönként történő elindítására. Ha az átalakítás során egy újabb pozitív él lép fel az indítójelen, az figyelmen kívül marad.

Free Running (szabadonfutó) módban az ADC egymást követő konverziókat hajt végre. Ebben a módban tehát csak egyszer kell elindítani az átalakítást és az ADC automatikusan megkezdi a következő átalakítást, amint az előző befejeződött.

Az alábbiakban az ADC működési módjait mutatjuk be.

12.1. ADC differenciál mód (ADC Differential Mode)

A differenciális analóg-digitális átalakító (ADC) két jel közötti feszültségkülönbséget mér. Egy ADC általában a jel és a föld közötti feszültséget méri, de differenciális üzemmódban a föld kivezetés valójában az áramkör egy másik részéhez van csatlakoztatva, így az ADC a két jel közötti különbséget tudja mérni. Ezt gyakran használják nagyobb egyenfeszültségen ülő kis jelek mérésére. A differenciális bemenet használata lehetővé teszi az ADC számára, hogy a jel egy kisebb részét mérje.

A differenciális bemeneteket egy erősítőn keresztül vezetik, hogy növeljék az átalakítandó jelet. Néhány AVR eszköz esetén az erősítés mértéke is változtatható. A differenciális erősítésű csatornák használatakor az átalakítás bizonyos szempontjait figyelembe kell venni. A differenciális csatornákat nem szabad 2 V-nál kisebb analóg referenciafeszültség (*AREF*) mellett használni. Az AVR eszközökön a differenciális konverziók az ADC órajel felével megegyező belső órajelre vannak szinkronizálva. Ezt a szinkronizálást az ADC-interfész automatikusan végzi el oly módon, hogy a mintavételezés és tartás az óra meghatározott fázisában történik.

12.2. ADC zajcsökkentő mód (Noise Reduction Mode)

Az AVR eszközök analóg-digitális átalakítói rendelkeznek zajcsökkentési üzemmóddal, amely leállítja a CPU-t és az összes I/O modult, az aszinkron időzítőt, a PTC-t és az ADC-t kivéve, hogy minimalizálják a kapcsolási zajt az ADC átalakítások során. Ezt akkor használják, ha nagy felbontású ADC mérésre van szükség. Az ADC-mérések akkor hajtódnak végra amikor a mag alvó üzemmódba kerül.

12.3. ADC feszültség referencia (ADC Voltage Reference)

Az analóg referencia a csipen levő analóg-digitál átalakító referenciafeszültsége az AVR eszközökön, egy olyan külső feszültség, amelyet a csip *AREF* kivezetésére lehet kapcsolni. A *VREF* határozza meg az ADC átalakítás feszültségtartományát.

A mérendő feszültségnek az ADC bemenetén nagyobbnak kell lennie 0 V-nál, és kisebbnek kell lennie, mint az ADC referenciafeszültsége, az AREF.

Mivel ez egy 10 bites konverter, 1024 ($1024 = 2^{10}$) lehetséges kimeneti értékkel rendelkezik (0 és 1023 között). Tehát, ha Vin egyenlő 0 V-tal, az átalakítás eredménye 0 lesz, ha Vin egyenlő VREF-fel, akkor 1023 lesz, és ha Vin egyenlő VREF/2-vel, akkor 512 lesz. Amint látható, mivel folytonos változót (végtelen lehetséges értékekkel) véges számú lehetséges értékű változóvá konvertál, az ADC konverziós hibát eredményez, amelyet „kvantálási hibának" nevezünk.

12.4. VREF opciók

A *VREF* kiválasztható *AVCC*-ként, belső 1,1 V referenciaként, vagy használhatjuk a külső *AREF* lábat. Az *AVCC* a tápfeszültség, amely passzív kapcsolón keresztül belsőleg csatlakozik az ADC-hez. A belső 1,1 V-os referenciát a belső bandgap referencia (VBG) generálja egy belső erősítőn keresztül. Ha a külső *AREF* lábhoz egy fix feszültségforrás van csatlakoztatva, az alkalmazás nem használhatja a többi referenciafeszültség-választási lehetőséget az alkalmazásban, mivel azok rövidre záródnak a külső feszültséggel.

Ha az *AREF* lábra nincs külső feszültség kapcsolva, akkor a referencia az *AVCC* és az 1,1 V közül választható. Néhány AVR eszköz esetén ennél több választási lehetőség is van.

13. AVR SPI

Az AVR eszközök Serial Peripheral Interface (SPI) protokollja lehetővé teszi az AVR mikrovezérlő számára, hogy egyszerre több más eszközzel is kommunikáljon. Az SPI busz segítségével kommunikálhat egy master eszköz és egy vagy több slave eszköz között. Az SPI a *Master In Slave Out (MISO)* és a *Master Out Slave In (MOSI)* vonalakkal, az órajellel (*SCK*), és a *Slave Select (SS)* kiválasztó vezetékkel kommunikál az egységek között.

13.1. SPI rendszer

A rendszer két léptetőregiszterből és egy master órajelgenerátorból áll. Az SPI Master akkor kezdi meg a *kommunikációs* ciklust, amikor alacsonyra húzza a kívánt Slave *SS* bemenetét. A Master és a Slave előkészíti az elküldendő adatokat a saját léptetőregiszterében, és a Master generálja az SCK

vonalon a szükséges óraimpulzusokat az adatcseréhez. Az adatátvitel mindig a MOSI vonalon történik a Masterről a Slave felé, és a MISO vonalon a Slaveről a Master felé. Minden adatcsomag után a Master szinkronizálja a Slave-et az *SS* vonal magasra húzásával.

13.2 Master mode

Ha az AVR-t Master-nek állítjuk be, akkor az SPI interfész nem vezérli automatikusan az SS vezetéket, ezt szoftveresen kell megtennünk mielőtt elkezdenénk az SPI kommunikációt. Ha ez megtörtént, egy bájt írása az SPI adatregiszterbe elindítja az SPI órajelgenerátort, ami órajelimpulzusokat szolgáltat közvetlenül a Master léptetőregiszterének és az *SCK* vonalon keresztül közvetve a *Slave* léptetőregiszterének is. Minden egyes órajelimpulzusra egyetlen bit lesz kiléptetve a Master léptetőregiszteréből a *MOSI* lábon keresztül. Ezt az adatot a Slave eszköz a *MOSI* lábán fogadja. Ezzel egy időben ugyancsak egyetlen bit lesz kiléptetve a Slave léptetőregiszteréből az *MISO* lábon keresztül a Master eszköz *MISO* lábára. Nyolc SCK órajelimpulzus után, éppen egy adatbájtnyi információ cserélődött ki a Master és a kijelölt Slave eszköz között. Egy bájt elküldése után az órajelgenerátor megáll, és az SPI állapotregiszterben (SPSR) az adatküldés végét jelző SPIF jezőbit értéke **1** lesz. A Master eszköz ezután folytathatja a kommunikációt a következő bájt elküldésével, vagy lezárhatja a kommunikációt a Slave Select vezetéket magasra állítva. Az utolsó bejövő bájt a pufferregiszterben marad későbbi felhasználás céljából.

13.3. Slave mode

Slave-ként konfigurálva az SPI-interfész alvó üzemmódban marad a *MISO* háromállapotú állapotában, amíg az *SS* láb szintje magas. Ebben az állapotban a szoftver frissítheti az SPI adatregiszter tartalmát, de az adatokat nem léptetik ki az *SCK* lábon bejövő óraimpulzusok, amíg az *SS* lábat alacsonyra nem állítják. Amint egy bájt teljesen át lett küldve, az átvitel végét jelző jelző (SPIF) feláll. Ha az SPI Interrupt enable bit (SPIE) az SPCR regiszterben be van állítva, akkor megszakítást kér.

14. AVR belső komparátor

Sok AVR eszköz rendelkezik belső analóg komparátor perifériával, amely összehasonlítja az *AIN0* pozitív és a *AIN1* negatív bemenet feszültségszintjét. Ha az *AIN0* feszültsége nagyobb, mint az *AIN1*-é, akkor a kimenet ACO bitje magas lesz, ellenkező esetben az ACO alacsony marad.

A komparátor kimenete beállítható a *Timer/Counter1 Input Capture* funkció elindítására. Ezen kívül a komparátor egy külön, kizárólag az analóg komparátorra vonatkozó megszakítást is kiválthat. A felhasználó kiválaszthatja a megszakítás kiváltását a komparátor kimenetének emelkedése, csökkenése vagy váltása esetén.

Az analóg komparátor negatív bemenetének helyettesítésére bármelyik ADC bemenet kiválasztható. Ennek a bemenetnek a kiválasztására az ADC multiplexert használják, és ennek következtében az ADC-t ki kell kapcsolni.

15. AVR Brown-Out Detector

Számos AVR eszköz rendelkezik egy csipen belüli *Brown-out Detector (BOD)* áramkörrel, amely a tápfeszültség (V_{CC}) szintjét figyeli működés közben. A V_{CC}-t egy rögzített triggerszinthez hasonlítva képes meghatározni, hogy az eszközt reset üzemmódba kell-e helyezni a hibás működés megakadályozása érdekében.

Ha a *Brown-out Detector (BOD)* a *BODLEVEL* biztosítékok által engedélyezve van, a *BOD* aktívan figyeli a tápfeszültséget még alvó üzemmódban is. Az energiatakarékosság érdekében lehetőség van a *BOD* szoftveres letiltására néhány alvó üzemmód esetében. Ekkor az alvó üzemmód energiafogyasztása ugyanolyan szintű lesz, mint amikor a *BOD* globálisan le van tiltva a biztosítékokkal.

Ha a *BOD* szoftveresen letiltásra kerül, akkor a *BOD* funkció az alvó üzemmódba való belépést követően azonnal kikapcsol. Az alvó üzemmódból való felébredéskor a *BOD* automatikusan újra engedélyezésre kerül. Ez biztosítja a biztonságos működést abban az esetben, ha a V_{CC} szintje az alvó üzemmódban túlzottan csökkent.

Ha a *BOD* ki van kapcsolva, az alvó üzemmódból való ébredési idő körülbelül 60 us, hogy a *BOD* megfelelő működése biztosított legyen, mielőtt az MCU folytatja a kód végrehajtását.

16. AVR Interrupts (megszakítások)

Az AVR eszközök több különböző megszakítási forrást biztosítanak, beleértve a belső és külső megszakításokat. A megszakítások megállíthatják a főprogram végrehajtását, hogy egy külön megszakításkezelő rutint (ISR) hajtsanak végre. Amikor az ISR befejeződik, a programvezérlés visszatér a főprogramhoz a megszakított utasításnál.

Ezek a megszakítások mindegyike külön programvektorral rendelkezik a programmemória-területen. A programmemória-terület legalsó címei alapértelmezés szerint a Reset és a Interrupt vektorok. Ezek meghatározott prioritási szintekkel rendelkeznek; minél alacsonyabb a cím, annál magasabb a prioritási szint. A RESET-nek van a legmagasabb prioritása, és a következő a külső megszakítási kérelem (*INT0*).

Amikor megszakítás történik, a *Global Interrupt Enable (I)* bit törlődik, és minden megszakítás letiltódik. A megszakítási vektor a programvezérlést a megfelelő ISR-hez vagy végrehajtáshoz irányítja. Ez az ISR logikai egyest írhat az *I* bitbe, hogy engedélyezze a beágyazott megszakításokat. Ezután az összes engedélyezett megszakítás megszakíthatja az aktuális megszakítási rutint. Amikor az ISR befejeződik, és az ISR-ből végrehajtják a visszatérési (RETI) parancsot, a globális *I* bit automatikusan „ON"-ra áll, és a program végrehajtása visszatér a főprogramhoz a megszakított utasításnál.

16.1. Megszakítási válaszidő (Interrupt Response Time)

A megszakítás-válaszidő az összes engedélyezett AVR megszakítás esetén legalább négy órajelciklus. Ha megszakítás akkor következik be, amikor az MCU alvó üzemmódban van, a megszakítás végrehajtási válaszideje négy órajelciklussal megnő. Ez a növekedés a kiválasztott alvó üzemmódból való indulási időn felül történik. A megszakításkezelési rutinból való visszatérés is négy órajelciklust vesz igénybe.

16.2. Külső megszakítások (AVR External Interrupts)

A külső megszakításokat az *INT* vagy a *PCINT* bármely kivezetése kiváltja. Ha engedélyezve van, akkor a megszakítás akkor is működik, ha az *INT* vagy a *PCINT* lábak kimenetként vannak konfigurálva. Ez a funkció lehetőséget biztosít szoftveres megszakítás generálására. A külső megszakításokat kivált-

hatja egy lefutó vagy felfutó él, vagy egy alacsony szint.

Az *INT* lábon érkező **L** szintű megszakítás aszinkron módon érzékelődik. Ez azt jelenti, hogy ez a megszakítás az alkatrésznek az Idle üzemmódtól eltérő alvó üzemmódokból való felébresztésére is használható. Az I/O órajel az Idle üzemmód kivételével minden alvó üzemmódban megáll.

A *Pin Change Interrupt Request* akkor aktiválódik, ha bármelyik engedélyezett *PCINT* láb állapota megváltozik. Több ilyen megszakítás létezik, amelyek mindegyike portokhoz vagy azok kivezetéseihez van rendelve.

17. Real Time Counter (RTC) – Valós idejű számláló

Az RTC előállításához használhatjuk az AVR-ben található egyik belső időzítőt/számlálót. A kisebb Tiny áramkörökben pl. a Tiny13-ban csak egy ilyen van, a *TC0*. Ez a számláló, hacsak nincs „előosztva", órajelenként eggyel növekszik. Mivel ez egy 8 bites számláló, 255-ig növekedhet, a maximális érték elérése után visszaáll nullára. Minden esetben, amikor a *TC0* túlcsordul, egy jelet generál. Ezt a jelet felhasználhatjuk a programban időzítésre, vagy más célra is. A számlálónál beállíthatunk egy előosztót, ami csökkenti az időzítő/számláló növekményének sebességét. Vagyis ekkor a *TC0* nem minden órajelre, hanem pl. minden 8. órajelre lép egyet. Ez esetben a lehetséges előosztóválasztások a következők: clk/8, clk/64, clk/256, clk/1024. Ezenkívül az AVR által használt rendszerórának is van egy előosztója, amely pontosan ugyanúgy viselkedik. Ezeknek az értéknek a variálásával különféle időalapot állíthatunk elő. Az időzítő/számláló működésének ezt a módját nevezzük normál módnak (*Normal mode*).

Az AVR kontrollerek egy részében található egy „Type 2" általános célú, kétcsatornás, 8 bites időzítő/számláló (*TC2*) modul. Ez lehetővé teszi, hogy az időzítő viszonylag pontos valós idejű számlálóként (RTC) működjön.

Alapértelmezés szerint a *TC2* óraforrása is a fő rendszeróra, de konfigurálható RTC-ként is, *aszinkron módon* vezérelve egy külső RTC kristályról. Mivel a mikrovezérlőhöz csak egy kristályoszcillátor kapcsolható, és azt RTC vezérlésére fordítjuk, ekkor rendszerórának a belső RC oszcillátort kell használni. A külső oszcillátor ez esetben 32,768 kHz-es kristályokkal való használatra van optimalizálva. Ez a mód Tinyk esetén természetesen nem használható, hiszen ezeknél nincs is *TC2*.

18. AVR belső hőmérséklet-érzékelő

Egyes AVR-eszközök belső hőmérsékletérzékelővel rendelkeznek. Ez a csip maghőmérsékletének mérésére használható (nem az eszköz körüli környezeti hőmérséklet mérésére). A mért feszültség lineáris kapcsolatban van a hőmérséklettel. A hőmérséklet-mérés a csipen levő hőmérséklet-érzékelőn alapul, amely egy normál ADC-csatornához csatlakozik. A feszültségérzékenység körülbelül 1 mV/°C, a hőmérsékletmérés hibája ±10 °C.

A hőmérsékletmérések eredményei ofszet- és erősítési hibákkal rendelkeznek. A belső hőmérséklet-referencia korrigálható ezekre a hibákra egy vagy két ismert hőmérsékleten végzett kalibrációs mérésekkel, és a kimeneti értékek beállításával. Ez meglehetősen pontos hőmérsékletméréseket eredményezhet, néha akár legfeljebb ±2 °C hibával is.

19. AVR Reset források

Az AVR eszköz négy reset forrással rendelkezik:

- ***Power-on Reset*** – amikor a tápfeszültség kisebb, mint a bekapcsolási küszöbérték (VPOT).
- ***External Reset*** – ha a *RESET* lábon a minimális impulzus hosszát meghaladó ideig alacsony szint van jelen.
- ***Watchdog System Reset*** – amikor a Watchdog Timer periódusa lejár, és a Watchdog System Reset üzemmód engedélyezve van.
- ***Brown-out Reset*** – amikor a V_{CC} tápfeszültség kisebb, mint a Brown-out Reset szint.

20. Alap AVR családok

Az Atmel három nagy teljesítményű és energiatakarékos 8 bites MCU családba sorolta az AVR CPU-it: a kezdő szintű tinyAVR, a középkategóriás megaAVR, a legfejlettebb család az AVR XMEGA. Ezeken kívül készültek felhasználásspecifikus AVR áramkörök is.

A *tinyAVR* eszközöket olyan alkalmazásokra optimalizálták, amelyek teljesítményt, energiahatékonyságot és könnyű kezelhetőséget igényelnek egy kis tokban. A mindössze 1,8 V feszültségtől működőképes eszközökben megtalálható az ADC, a Flash, az EEPROM és a brown-out detector. Ezenkívül a csipek hardveres hibakeresést biztosítanak a gyors, biztonságos és költséghatékony áramkörön belüli firmware hibaelhárításhoz.

A Tinyk főbb jellemzői:

- 0,5–16 KiB programmemória,
- 32–512 bájt adatmemória,
- 0–512 bájt EEPROM,
- 6–32 lábú tokok,
- korlátozott perifériakészlet,
- maximálisan 4–20 MHz-es órajel.

És egy Tiny különlegesség: az Attny43U mikrovezérlőbe épített *On-chip Boost Converter* egyetlen AA vagy AAA elem/akkumulátor használatát teszi lehetővé. A boost-konverter az akkumulátor feszültségét stabil 3 V-os tápfeszültséggé alakítja, elegendő energiát biztosítva az egész alkalmazáshoz. Az akár 0,7 V-tól történő üzemeltetés teljes mértékben kihasználja az akkumulátor tartalékát.

A középkategóriás *megaAVR* jobban megfelel azoknak az alkalmazásoknak, amelyek nagyobb mennyiségű kódot igényelnek. A 20 MIPS teljesítményig terjedő kínálat széles választékot kínál a memóriák, a lábszámok és a perifériák tekintetében. Vannak speciális tokok USB, LCD vezérlőkkel, CAN, LIN és power-stage vezérlőkkel.
Az ATmega sorozat jellemzői:

- 4–256 KiB programmemória,
- 0,5–16 KiB adatmemória,
- 0,25–4 KiB EEPROM,
- 24–100 lábú tok,
- kiterjesztett utasításkészlet (szorzó utasítások és nagyobb programmemóriákat kezelő utasítások),
- kiterjesztett perifériakészlet,
- maximális órajel 16–20 MHz.

Az AVR *XMEGA* MCU-k különféle alapvető blokkokból állnak, köztük az AVR CPU, SRAM, Flash, EEPROM és számos periféria. Az AVR XMEGA utasításkészlet támogatja a 16 bites regiszterelérést és a 32 bites aritmetikát. A család egyik legfontosabb jellemzője az energiatakarékos perifériák használata, amelyet az eszköz rendkívül innovatív *eseményrendszer*e révén érnek el. Ez egy olyan funkciókészlet, amely lehetővé teszi a perifériák interakcióját a CPU beavatkozása nélkül. Ez megengedi a perifériák számára, hogy jeleket küldjenek közvetlenül más perifériák-

nak, biztosítva ezzel a rövid és 100% -ban kiszámítható válaszidőt. Az *eseményrendszer* képességeinek kihasználása esetén a csipet úgy lehet beállítani, hogy bonyolult műveleteket hajtson végre a CPU nagyon kis beavatkozásával. Ez értékes programmemóriát és végrehajtási időt takarít meg.

Az ATxmega sorozat jellemzői:

- 16–384 KiB programmemória,
- 2–32 KiB adatmemória,
- 1–4 KiB EEPROM,
- 44–64–100 lábú tok (A4, A3, A1),
- teljesítménynövelő tulajdonságok, mint DMA, eseménykezelő-rendszer és titkosítás,
- kiterjesztett perifériakészlet DAC-rel,
- maximális órajel 32 MHz.

20.1. Felhasználásspecifikus AVR

- megaAVR-ek speciális tulajdonságokkal, melyek nem találhatóak meg az AVR család más tagjainál. Olyanok, mint például az LCD-vezérlő, USB-vezérlő, fejlett PWM, CAN, stb. (A *PWM* a *pulse width modulation*, azaz az impulzusszélesség-moduláció rövidítése. A CAN a Controller Area Network rövidítést jelenti. Ez egy olyan módszer, amely lehetővé teszi a mikrokontrollerek számára, hogy hálózaton (buszon) kommunikáljanak egymással.)
- FP-SLIC (Field Programmable System Level Integrated Circuit), egy AVR mag egy FPGA-val egy lapkára integrálva. Az FPSLIC – eltérően a többi AVR-től – SRAM-ot használ a programhoz, részben az SRAM és a flash közötti relatív sebességkülönbség miatt. Az AVR mag az FPSLIC-ben akár 50 MHz felett is futhat.

Az összes 8 bites AVR eszköz a vállalat picoPower technológiáját használja. Ez magában foglalja a nagy teljesítményű és alacsony szivárgású tranzisztorok optimalizált egyensúlyát, az alacsony feszültségű működést, a különféle alacsony fogyasztású és alvó üzemmódokat gyors ébresztéssel, valamint a hardveres DMA használatát. Ráadásul az AVR XMEGA olyan eseményrendszert tartalmaz, amely a CPU-tól vesz át munkát, hogy energiát takarítson meg és egyenletes megszakítási reakcióidőt biztosítson. A fő teljesítményjellemzők közé tartozik az 1,8…5,5 V közötti működés, 200 uA/MHz fogyasztás aktív üzemmódban, 0,1 uA kikapcsolási módban, teljes RAM-megtartással, 0,6 uA energiatakarékos üzemmódban (32 kHz-es kristályoszcillátorral) és kevesebb mint 1 órajelciklus ébresztési idő.

2016-ban a Microchip/Atmel bejelentett egy teljesen új csipkészletet, amelynek célja a régebbi ATmega és ATtiny sorozat cseréje. Az új ATtiny csipek az 1-es ATtiny417 és az ATtiny817 sorozatból indultak, majd 2018-ban kijött egy alacsonyabb költségű sorozat, amelyet „0-sorozat”-nak hívnak.

Először is nagyszerű plusz, hogy a teljes tartományban van egy azonos periféria-alapkészlet. A régi ATtiny család perifériái típusonként változnak; például az ATtiny85-nek két 8 bites időzítője, míg az ATtiny84-nek egy 8 bites és egy 16 bites időzítője van. Az új sorozatban minden kontrollerhez tartozik legalább két 16 bites időzítő, egy USART, I^2C, SPI és ADC. Számos olyan periféria is létezik, amelyek egyáltalán nem voltak elérhetők a régi ATtinykben, mint például egy RTC, DAC, konfigurálható logika, eseményrendszer és (a legkisebbek kivételével) érintésérzékelés-vezérlő (*PTC – Peripheral Touch Controller*).

Másodszor, az új csipek akár 32 KiB programmemóriával is rendelkezhetnek; a régi ATtinyk általában 8 KiB-ig készültek, a legnagyobb is csak 16 KiB memóriával rendelkezett. Végül az új csipek jóval olcsóbbak, mint a régi ATtiny csipek.

A régi ATtiny csipekkel összehasonlítva, amelyeket ismerünk és szeretünk, az új 0 és 1 sorozatú ATtiny csipeknek van néhány kisebb hiányossága. Az alkatrészek egyike sem kapható a kísérletekhez jobban használható DIP tokban, és egyik alkatrész sem vezérelhető külső kristályról, (a TOSC kivezetésekhez csak 32,768 kHz kapcsolható) bár ezt részben kompenzálja az a tény, hogy a belső oszcillátor frekvenciapontossága jobb, mint 2%.

A perifériák programozása közvetlenül bonyolultabb, mint a régi ATtiny termékcsaládban, A régi ATtiny csipek némelyikében még megvalósított funkciók egyáltalán nem érhetők el, például a differenciális ADC. Hírek szerint ezt orvosolni fogják a készülő kettes sorozatú ATtiny csipekkel.

Az eszköz programozása is szokatlan, ehhez *UPDI* programozót kell használni, esetleg készíteni. Az *Unified Program and Debug Interface* (UPDI) egyvezetékes interfész az újabb ATtiny és ATmega eszközök programozásához és csipen belüli hibakereséséhez.

A kontrollerek használatához számos „segédeszköz” létezik, ezek egy részét az Atmel hozta létre, másokat támogatott. A következőkben néhány példa ezek közül (a felsorolás nem teljes).

20.2. Webhelyek, fórumok:

https://www.microchip.com

Atmel START rengeteg példával, segítséggel, projektekkel

AvrFreaks | Atmel Community fórumok stb.

Projects | AVR Freaks

20.3. Fejlesztőeszközök:

- STK200, STK500, STK600,
- AVR-ISP / AVRISP mkII,
- AVR Dragon (USB),
- JTAG (IEEE 1149.1),
- JTAGICE mkI,
- JTAGICE mkII,
- AVR BUTTERFLY,
- AT90USBKey,
- Arduino Egy moduláris rendszer különböző fejlesztői lapokkal + egy szabad szoftveres elektronikai fejlesztőplatform,
- Adafruit Fejlesztői panel Trinket ATtiny85,
- Digispark Kickstarter,
- Microchip PICkit4 (UPDI csak a legfrissebb firmware-rel).

20.4. Programnyelvek, fordítók:

- *AVR-Studio*: Ingyenes fejlesztőkörnyezet szimulátorral,
- *Atmel Studio* új néven: *Microchip Studio for AVR® and SAM Devices*: Ingyenes fejlesztőkörnyezet szimulátorral,
- *KontrollerLab*: Ingyenes fejlesztőkörnyezet KDE-hez,
- *Klab*: Ingyenes fejlesztőkörnyezet KDE/GTK2/Win32-hez (elérhető FPC/Lazarus forráskódként, a KontrollerLab másolata),
- *Microsoft Visual C++ Express*: Ingyenes fejlesztőkörnyezet (Win), makefile-on keresztül,
- *Netbeans*: Plugin alapú, ingyenes fejlesztőkörnyezet (Windows, Mac, Linux és Solaris). Itt talál egy Howto-t az AVR beállításához (pl. Arduino-hoz),
- *AVR Eclipse*: Plugin alapú ingyenes fejlesztőkörnyezet (Win, Linux, Mac),
- *Code::Blocks*: Ingyenes fejlesztőkörnyezet (Win, Linux, Mac), amely AVR projektekhez is kínál támogatást,
- *AVR-GCC*: ingyenes és nyílt forráskódú C fordítóprogram, ennek

Windows-ra átportolt változata a *WinAVR,*

- *Mikropascal* korlátozott ingyenes próbaverzióval,
- *LunaAVR*: ingyenes, objektum-alapú Basic/Pascal-szerű programozási nyelv és fejlesztőkörnyezet fordítóval/assemblerrel és disassemblerrel (Win, Linux, Mac),
- *AVRA*: ingyenes és nyílt forráskódú AVR assembler,
- *Bascom* AVR népszerű alapfordító,
- *AVRCo* Pascal fordító,
- *AVR-Ada*: ingyenes Ada fordító, néhány illesztőprogrammal és (nagyon) szűkös futásidejű könyvtárral (RTS),
- *amforth*: interaktív és bővíthető parancsértelmező AVR-hez GNU licenc alatt (nyílt forráskódú),
- *SJC*: Kísérleti Java fordító GPL alatt AVR támogatással,
- *Great Cow BASIC* fordító: Nyílt forráskódú alapfordító AVR és PIC vezérlőkhöz. Elérhető Windows, Linux és Apple rendszerekre,

21. AVR mikrovezérlők programozása

A készüléképítéssel is foglalkozó rádióamatőr tevékenysége során sűrűn találkozhat olyan szerkezettel, amiben AVR mikrovezérlő végez fontos feladatokat. A Rádiótechnika korábbi számaiban is megjelent már néhány ilyen készülék leírása. Bátran hozzákezdetünk egy ilyen eszköz elkészítéséhez, ha rendelkezésre állnak a hozzávaló alkatrészek, kapcsolási rajz, esetleg a nyomtatott áramkör rajzolata. Természetesen a működtetéshez megfelelő programra is szükség van, lehetőleg hex fájl formájában.

A mikrovezérlőket a használatba vétel előtt fel kell programozni. A következő oldalakon az AVR-ek programozásáról, az ehhez szükséges néhány eszközről és pár egyszerű program használatáról lesz szó.

22. Programozók (készülékek)

A szerző évekkel ezelőtt gondolta, hogy készítenie kell egy, az AVR mikrovezérlők programozására alkalmas eszközt. Mégpedig azért, mert egy készülő TCVR-ben dolgozó Atmega16-ot kellett életre kelteni, ami egyébként az összes lényeges vezérlési feladatot ellátja a készülékben.

Nem kellett sokáig keresgélni az interneten. A rengeteg lehetőség közül a választás a *Simple AVR Programmer* [2], más néven Ponyser programozóra esett.

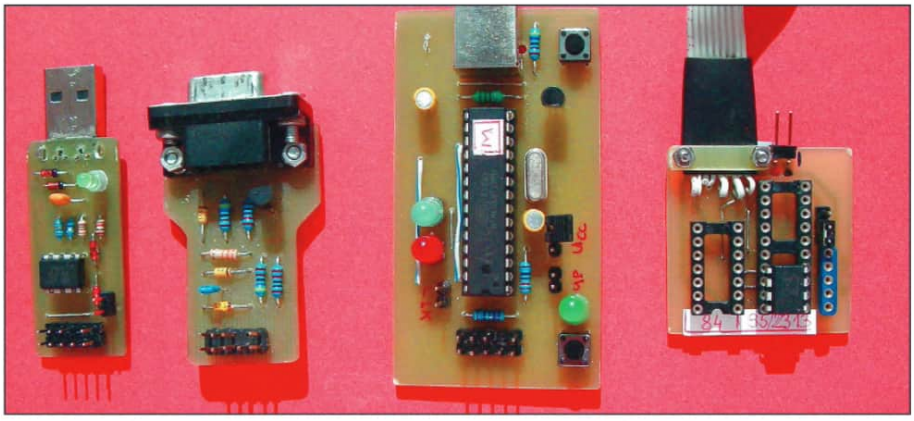
Mint a neve is mutatja, ez egy egyszerű soros programozó. Kezdetben sok kontrollert sikerült felprogramozni a segítségével, időnként még ma is használatban van. Az elkészítése roppant egyszerű, a szükséges néhány alkatrész az építéssel foglalkozó amatőr fiókjában valószínűleg megtalálható. Óriási előnye az áramkörnek, hogy nincs benne mikrovezérlő, amit fel kellene programozni, sőt a számítógépre sem kell segédprogramokat, vagy meghajtó (driver) programot telepíteni. Igaz, a gép nem fogja automatikusan felismerni, erre nincs is szükség, kézzel mindent be lehet állítani. A PonyProg programmal a beállítás igen egyszerű, mindössze néhány kattintás, ami után vidáman programozhatjuk AVR mikrovezérlőinket. A továbbiakban a beállítást a gép nem felejti el. A programozáshoz 3…5 V közötti tápfeszültségre is szükség van. Itt nem valami labortápra kell gondolni, tökéletesen megfelel pl. 3 db sorba kapcsolt AA elem. A megépítéshez szükséges minden adat, rajz, fénykép megtalálható az interneten, felesleges lenne itt is leközölni. Egyetlen dologra hívom fel a figyelmet: a tranzisztor beültetésénél figyeljünk a helyes bekötésre, mert a hivatkozásban szereplő fotón egy fordított bekötésű tranzisztor látható! A beültetési rajzon a szokásos tranzisztorbekötés (EBC) szerepel

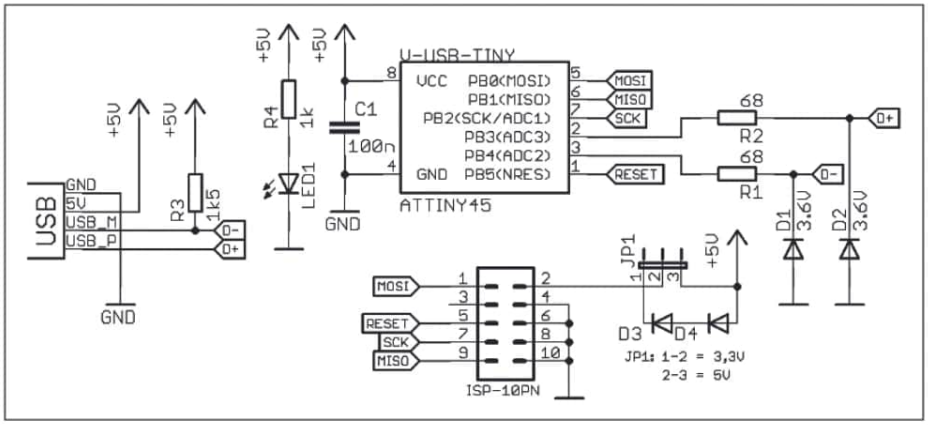
A szerkezetnek egyetlen hibája van: a számítógépen kell lennie RS232, másképpen soros csatlakozónak. Sajnos manapság ezek a csatlakozók legtöbbször lemaradnak a számítógépekről, helyettük inkább USB csatlakozókat építenek be. Ekkor esetleg használható az üzletekben kapható USB-soros adapter. Vigyázat a kapható adapterek nagy része TTL kimenetű, viszont a programozó RS232 jelszinteket vár, ezért az összeállítás ez esetben nem lesz működőképes. A szintváltást meg lehet oldani egy MAX232 segítségével, de így készülékünk már egyáltalán nem lesz „Simple”!

Jobb megoldás, ha USB csatlakozóról működő programozót készítünk. Amit elöljáróban meg kell említeni, az alkalmazott AVR áramkörök nagy része nem tartalmaz USB illesztőt, ezt itt szoftveresen kell megvalósítani. Gyakran ezt a megoldást virtuális USB-nek,V-USB-nek nevezik. A *v-usb* az Atmel AVR mikrovezérlőinek egy kis sebességű USB eszköz szoftveres megvalósítása, amely lehetővé teszi az USB hardver szinte bármilyen AVR mikrovezérlővel történő felépítését, anélkül, hogy ehhez további csipre lenne szükség. Sok ilyen alkalmazást készítettek, van közöttük vezérlő, távirányító, midi és több száz egyéb. Ilyen az amatőrök által a HA-SDR (SDR1000) készülékhez használt USB-LPT konverter [3], vagy az éppen tárgyalt programozó áramkör is.

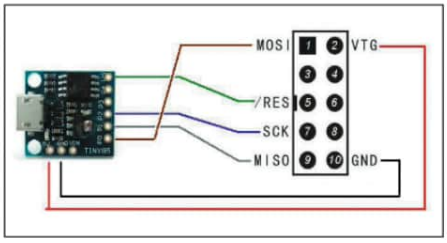
Programozóból is sok található a neten. Az első ilyen eszköz valószínűleg: *Thomas Fischl* alkotása az USB programmer for Atmel AVR controllers, röviden *USBasp* [4]. Mindössze egy ATMega8-ból, vagy egy ATMega88-ból és néhány passzív alkatrészből áll. Ez a programozó is firmware-re telepített USB-meghajtót (v-usbt) használ, nincs szükség speciális USB-vezérlőre. A készítője kb. 2011-ig fejlesztette a programokat hozzá.

Eredetileg „lábas” alkatrészekkel készült, de később számtalan változatban utánépítették. Némi webes keresés után találhatunk olcsó, komplett kínai készüléket csatlakozóval együtt, ami alig drágább, mint a felhasznált kontroller. Linux és MacOS X rendszereken nincs szükség kernelmeghajtóra.





5. ábra



8. ábra

A Windows illesztőprogramot igényel az USBasp számára, ennek telepítéséhez célszerű a *Zadig* segédprogramot használni.

A szerkezetet megépítettem, de a Win10-es gépem nem akarta a felismerni. Mivel hibás alkatrészt nem találtam, és a beírt program, valamint a fusebitek beállítása is rendben volt, jobb híján félretettem. Később kipróbáltam egy régebbi WinXP alapú gépen és az rögtön felismerte. A megfelelő meghajtó program telepítése után az eszköz hajlandó volt működni. Itt a *Zadig 2.2* verziója segített. Talán csak Windows10-nek az én gépemre telepített magyar változatát nem szereti, mert az eszköz leírása szerint Win10 alatt is működnie kell.

Néhány fejlesztő úgy gondolta, hogy a 28 láb túl sok ilyen egyszerű feladat ellátására, így megpróbálkoztak kisebb lábszámú, olcsóbb Tiny kontrollerekkel. Ezekkel is több változat elkészült: USBTinyISP ATtiny2313-mal, majd Attiny44-gyel, Tiny45-tel. Mind közül a legkisebbet építettem meg, ezt többnyire *VUSBTiny* néven emlegetik. Ennek elkészítéséhez mindössze egy Attiny45 (vagy 85), 2 db Z-dióda, 3 db ellenállás és egy kondenzátor szükséges. Extra szolgáltatásként beépíthetjük még a következőket: 1 db LED és 1 db ellenállás a bekapcsolt állapot jelzésére, további 2 db 1N4148 dióda, ezekkel az 5 V-ból 3,3 V-hoz közeli feszültséget állítunk elő, és egy jumper a két feszültség váltására és kikapcsolására, ha áramköri környezetben programozunk. A kontroller összes lábát használjuk, ezért a reset funkciót meg kell szüntetni, de vigyázat a sorrend fontos! A firmware beírása után végezzünk több ellenőrzést és csak ha minden rendben van, a próbapanelen összerakva az áramkört a számítógép is felismeri, akkor állítsuk be a biztosíték (fuse) biteket! A kipróbált, „extrákat” tartalmazó programozó kapcsolási rajzát az **5. ábrán** szemlélhetjük meg. A meglehetősen egyszerű DIL tokos kontrollerhez tervezett 20×45 mm méretű nyáklapot a **6. ábrán**, a beültetést pedig a **7. ábrán** láthatjuk

Az apró alkatrészeket kedvelők az interneten sok SMD-kkel megvalósított változatot találhatnak nyáktervekkel együtt.

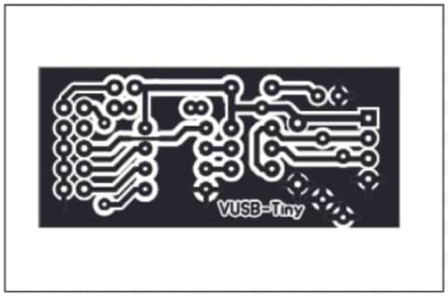
A megépített szerkezetet csatlakoztatjuk a számítógéphez. Hibátlan szerelés esetén a gép azonnal felismeri. A Windowsnál itt is telepíteni kell a megfelelő meghajtó programot, ez általában „libusb” névre hallgat. Ennél a változatnál is használhatjuk a Zadig megfelelő verzióját ő majd megkeresi és telepíti a szükséges drivert. A vusbtinyt kipróbáltam XP és Win10 alapú gépen. Mindkettő felismerte, és a driver telepítése után a készüléket rögtön használhattuk is. További előnye a kapcsolásnak, hogy a programozáshoz szükséges 5 (3,3) V-ot is biztosítja. A programozás a soros programozóhoz képest meglepően gyors. Sajnos a PonyProg az USB programozókat nem tudja kezelni, az Arduino, az AVRdude és a BascomAVR igen.

A programozó adapter kipróbálása és némi gondolkodás után a szerző rájött, hogy a jumperekre nincs igazán szükség. A programozáshoz elegendő az USB-ről nyert és a diódák által leosztott kb. 3,3 V-os feszültség, nincs szükségük az 5 V-ra. Áramköri környezetben pedig a diódák elvégzik az USB leválasztását az áramkörről. Kivétel azért akad: ha az AVR-t tartalmazó áramkör tápfeszültsége alacsonyabb, mint 3,3 V. És ilyen eset elő is fordulhat: a Tinyk 2 V-tal vígan elboldogulnak! Viszont ilyen alacsony feszültséggel nem szoktunk programozni.

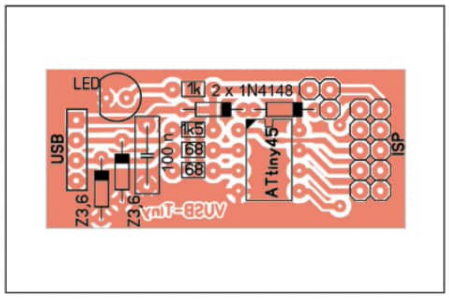
Ennél egyszerűbb módon is hozzá lehet jutni egy VUSBTiny égetőhöz. Csak meg kell vásárolni egy Attiny85 Arduino panelt, ezen minden rajta van (sőt még több is) és fel kell programozni, majd beállítani a fusebiteket. A csatlakozó bekötése a **8. ábrán** látható.

Az említett programokat rendszeresen fejlesztik, így a Zadig aktuális verzióját, a meghajtó- és firmware programot is érdemes az internetről letölteni. Az Attiny45-re íródott „vusbtiny-t45.hex” fájlt a *Rádiótechnika honlapjáról, ezen Évkönyv tartalomjegyzékénél* is le lehet tölteni.

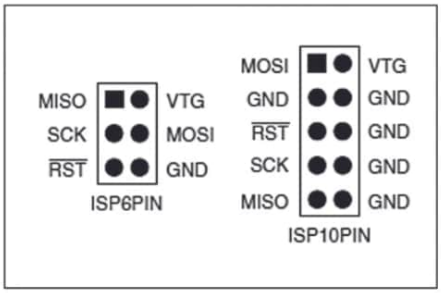
A figyelmes olvasó, már nyilván észrevette, hogy ezeknek az USB programozóknak van egy közös hibájuk. Igen, a mikrovezérlőket előzőleg fel kell programozni. Ekkor segítség lehet egy egyszerű, a paralel (nyomtató) porthoz csatlakozó programozó [5]. Ehhez a csatlakozón kívül mindössze 4 db 220, vagy 330 ohmos ellenállás szükséges. Az 5 V-ot itt is külső tápból, vagy 3 sorba kötött AA elemről biztosíthatjuk. A Pony is kezeli, a beállítása roppant egyszerű. Ezzel az első „komolyabb” programozó mikrovezérlőjét fel is programozhatjuk, de akár állandó programozónak is lehet használni.



6. ábra



7. ábra



9. ábra

Az egész szerkezet belefér a csatlakozó házába. Részletesebb leírást olvashatunk a jelzett honlapon, ahol a beállítás és néhány AVR mikrovezérlő bekötése is megtalálható.

Természetesen Arduino felhasználásával is készíthetünk programozót, erre sok példa van az interneten, de itt most ezzel nem foglalkozunk.

A leírt készülékek azonos kimeneti csatlakozókat tartalmaznak, ezt AVR-ISPnek szokták nevezni. Erre csatlakoznak a mikrovezérlő megfelelő lábai. Az AVR mikrovezérlőket lehet áramköri környezetben is programozni. A rendszeren belüli programozás (ISP), más néven az áramkörön belüli soros programozás (ICSP) néhány programozható logikai eszköz, mikrovezérlő és más beágyazott eszköz azon képessége, hogy programozható, miközben egy teljes rendszerbe van beépítve. Ekkor a futó program leáll, elkezdődik az „égetés", majd, ha a programozó végzett, lekapcsolja magát és elindul a most feltöltött program. Ilyen módon a firmware frissítések is egyszerűen elvégezhetők. A szabvány ISP lehet 6 lábú, vagy 10 lábú (**9. ábra**). Kapcsolási rajzaimon a 10 pólusú szerepel, ennek az oka egyszerű: az elsőt ezzel készítettem és nem akartam a későbbiekben változtatni. A 6 lábú ugyanígy megfelelne.

Nem minden áramkörhöz terveztek ISP foglalatot, ekkor a mikrovezérlőt önállóan IC-foglalatban kell programozni. A dip foglalatú Tiny áramkörökhöz készült egy adapter ezzel a összes nyolclábú (Attiny11, 12, 13, 15, 25, 45, 85), 14 lábú (Attiny24, 44, 84) és 20 lábú (Attiny2313, 4313) programozható. A lapon egy 10 lábú ISP, egy külön tápcsatlakozó, és három tüske is van a 8 és a 20 lábúak közötti átkapcsoláshoz. További csatlakozót találunk a rezgőkvarc, vagy kerámia rezonátor részére. Az AVR áramkörök programozásához szükség van egy működő oszcillátorra, ez az első esetben a belső kalibrált oszcillátor. A fusebitek beállításakor előfordulhat, akár véletlenül is, hogy valamelyik külső oszcillátort állítjuk be. Ekkor már az újraprogramozáshoz, vagy a fusebitek beállításához is szükséges valamilyen külső oszcillátor. Ennek frekvenciája mellékes, egy 4 MHz-es rezonátor is megfelel.

Az adapter egyoldalas 35×35 mm méretű nyáklapra készült, a **10. ábra** szerinti rajzolattal. Az áramkör 4 átkötést is tartalmaz, ezek részben a foglalatok alatt haladnak, ezért ezekkel kell kezdeni a beültetést a **11. ábra** alapján. Célszerű jobb minőségű foglalatokat használni. A rezonátorok részére törhető IC-foglalatból készült a csatlakozó. A 8 lábú Tinyk a 20 lábú kontrollerek IC-foglalatának egy részét használják, mert programozó kivezetéseik megegyezően helyezkednek el, csak a *GND* kivezetést kell átkapcsolni. A könnyebb kezelés végett 11. ábra szerinti feliratokat rá lehet nyomtatni a lapra.

Szükség esetén egy próbapanelen is elvégezhetjük a mikrovezérlők programozását.

23. Programozók (programok)

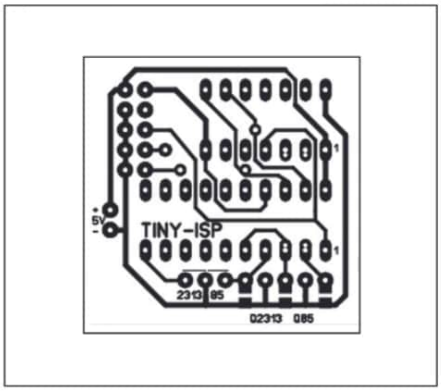
A *PonyProg* [6] sokak számára ismerős lehet, hiszen Pic, AVR és AT mikrovezérlők továbbá EEPROM programozására is alkalmas. A program szabadon, minden korlátozás nélkül használható. Sajnos egy ideje hivatalosan nem fejlesztik; az utolsó verzió 2015. januári dátumú.

Letöltés, telepítés után az első lépés a Setup menüben az Interface Setup beállítása. Itt választani lehet soros, vagy párhuzamos portok közül, majd a programozó készülék típusát kell megadni. Ha a programozó csatlakoztatva van, akkor a Probe gomb megnyomásával le is ellenőrizhetjük annak működőképességét. Az első esetben a kalibrálást is el kell végeznie. Ha rendben van, az OK gomb megnyomásával tovább is léphetünk. A korábban említett soros programozó beállításakor értelemszerűen a *Serial,* és a listából az *SI Prog API* a jó választás, majd az aktuális COM portot is bejelöljük. A paralel programozóhoz természetesen a *Paralel* gombot és az *Avr ISP API* lehetőséget kell választani és a megfelelő LPT port gombot bejelölni.

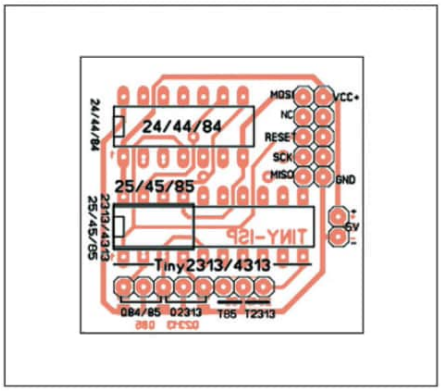
Következhet a programozni kívánt mikrovezérlő kiválasztása egy listából (menüből). Esetünkben AVR micro, ezen belül az AT áramkörök közül választhatunk. A programozáshoz előbb ki kell választani a megfelelő hex fájlt, a File/Open Program (FLASH) File.., majd a Command/Write Program (FLASH) paranccsal kezdődhet az égetés. Még egy utolsó figyelmeztetés és utána már csak a Yes gombot kell megnyomni. Ugyanitt a Command menüben van lehetőség az ellenőrzésre (Verify), vagy a felprogramozott kontroller tartalmának kiolvasására (Read) és itt állíthatjuk be a biztosíték és konfigurációs biteket is. A Pony szerzője (*Claudio Lanconelli*) ügyelt arra is, hogy csak az égetni kívánt eszközre vonatkozó funkciók választhatók, az éppen nem aktuális menüpontok szürkén látszanak

A programhoz részletes angol nyelvű dokumentáció és több programozó készülék (HW Interface) leírása is tartozik.

Az *AVRDUDE* segédprogram az AVR mikrokontrollerek ROM és EEPROM tartalmának letöltéséhez, feltöltéséhez, manipulálásához használható a rendszeren belüli programozási technika (ISP) segítségével. Ez egy kiváló szoftver az Atmel AVR mikrovezérlők programozásához, és rengeteg AVR programozó adaptert támogat. Sajnos a kezelése kellemetlen a parancssori megoldása miatt. Szerencsére létezik grafikus kezelő is: az *AVRDUDESS*, az AVRDUDE GUI (Grafikus felhasználói felület



10. ábra



11. ábra

– *graphical user interface)* szoftver, amelyet *Zak Kemble* fejlesztett. Ez a grafikus felhasználói felület kezeli az AVRDUDE által támogatott összes programozót és MCU-t, lehetővé teszi az eszközök és a konfigurációk közötti gyors és könnyű váltást, fájlok kijelölését az egyszerű feltöltéshez. Automatikusan felsorolja a rendelkezésre álló portokat (COM, LPT, USB), felismeri, detektálja a programozóba helyezett mikrovezérlőt. Az avrdudess segítségével a kezelést egérmozdulatokkal és kattintással végezhetjük. Az éppen használatos programozó készüléket listából lehet kiválasztani, a bőséges listát lehet csökkenteni, vagy bővíteni is.

A programot a GUI-val együtt más programok is használják, így a GCBasic-be eleve be van építve, a BASCOMAVR mint külső programozót szintén használhatja, a többi fejlesztő környezetről most nem is beszélve. Sajnos az újabb kiadású (2016 után megjelent) mikrovezérlők nem szerepelnek a listán, igaz ezeket már más módszerrel (UPDI) kell programozni.

Az eddigiekben az ISP segítségével végzett programozásról volt csak szó. Van azonban egy másik módszer is a bootloader segítségével végzett programozás. Ez a módszer egy kis betöltési kódot használ, amely „bootloader” néven ismert, amely állandóan a végrehajtható memóriában tartózkodik (általában védve van, hogy megakadályozza a véletlen felülírását). A mikrovezérlő ezt a kódot hajtja végre elsőként a bekapcsolás vagy a készülék resetelése után, és lehetővé teszi a mikrokontroller számára, hogy új programkódot töltsön be, amely az egyik interfészén keresztül érkezik egy külső forrásból. Egy „gyárilag friss” Atmel mikrokontrollert a bootloader segítségével csak akkor lehet programozni, ha előzőleg az ISP módszerrel beprogramoztuk a bootloader kódot az eszközre. Az ATMega328P mikrovezérlőket már beprogramozott rendszerbetöltővel is meg lehet vásárolni. *A bootloader segítségével végzett programozás kezdőknek nem ajánlott!*

Végezetül néhány figyelmeztetés a programozásra és a használatra vonatkozóan.

A mikrovezérlők kivezetéseire soha nem szabad 5,5 V-nál magasabb feszültséget kapcsolni! A fordított polaritással bekötött AVR azonnal tönkremegy! A fusebitek beállítását alaposan ellenőrizzük le, programozásukat csak a program- és az adatfájlok égetése után végezzük!

Egyebekben a mikrovezérlők nem túlságosan érzékenyek, nyugodtan meg lehet fogni kézzel a kivezetéseiket, akár több ezerszer újra programozhatók, az áramkörbe való forrasztást is elviselik.

Végül a szerző köszönetét fejezi ki Kőnig Imre villamosmérnök úrnak a szakmai segítségéért.

Hivatkozott irodalom:

1. https://www.engbedded.com/fusecalc/
2. Simple-serial-programmer-for-avr.html
3. USB to LPT Converter Circuit with Atmel ATMEGA8
4. https://www.fischl.de/usbasp/
5. http://danyk.cz/avr_prog_en.html
6. http://www.lancos.com/prog.html

Javasolt irodalom:

Microchip: 8-bit AVR® Microcontrollers – Developer Help.mikrocontroller.net/articles/AVR
Wikipédia
Alf-Egil Bogen és Vegard Wolan interjúk

Karácsonyi Kezdőkészlet

Dobókocka kit 1990 Ft

Kék-vörös villogó kit 1990 Ft

12 – 12 db-os, 5 mm-es kék és vörös LED-csoport. Állítható villogási sebesség. NE555 és CD4017 IC.

Szerencsekerék kit 1990 Ft

10 db 5 mm-es vörös LED. Körbefutó fényt ad, ez nyomógombbal megállítható. NE555 és CD4017 IC-vel.

DT-830B digitális multiméter 1990 Ft

200 mV ... 1000 V DC
0,2 mA ... 10 A DC
200 V ... 750 V AC
200 ohm ... 2 Mohm
Tranzisztor és dióda teszter.

Forrasztókészlet 9990 Ft

ALAP:
Hőmérséklet-beállítós forrasztópáka (230 V/60 W)
Forrasztópáka-állvány
5 db forrasztópákahegy
Forrasztóón (1 mm, 10 g)
Önszippantó
Eszközhordó táska

TARTOZÉKOK:
Az összetételük változó, de a szettek összértéke egyforma! (Például: a páka 60 W-os, LCD hőfokkijelzővel – a szettben kevesebb az egyéb kiegészítő.)

A fenti teljes Karácsonyi Kezdőkészlet együttes ára csak: 15.990 Ft.
(A készlet egyes elemei külön is megvásárolhatók.)
A kitek összeállítását kezdőknek segítséggel ajánljuk. – A készletekről utazás előtt érdeklődjön!

A »HAM-bazár speciál« készülékeiről, készleteiről további információ a honlapunkon található!
HAM-bazár 1138 Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H - P. 09 - 14 ó., Csüt. 09 - 17 ó.
239-4932/36 m., 239-4933/36 m. 1550 Bp., Pf. 123 www.radiovilag.hu hambazar@radiovilag.hu 2

Néhány kicsi mikrovezérlős kapcsolás

Kőnig Imre villamosmérnök, im_re@freemail.hu

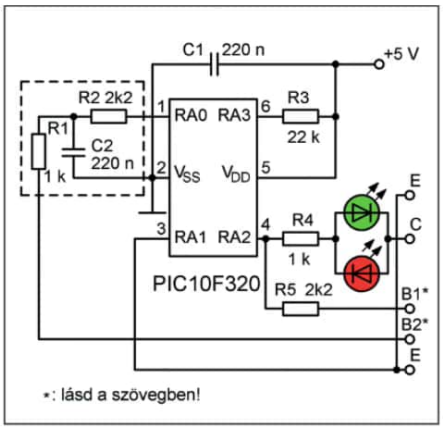
Elsősorban azokat a megoldásaimat szedtem csokorba, melyek a Rádiótechnikában illetve az Évkönyben megjelent cikkekre reflektálnak. A kedves olvasó eldöntheti, hogy a kisebb elemszám, kisebb méret, egyszerűbb vagy akár teljesen szükségtelen beállítás, vagy a hagyományos, esetleg az asztalfiókból is előhúzható alkatrészkészlet a fontosabb számára. Kezdjük néhánnyal a 2021-es évkönyvből!

1. Egyszerű tranzisztorvizsgáló

Az egy négyszöggenerátort, egy négy tranzisztorból álló H-hidat és két LED-et tartalmazó áramkör eredetije *Nagymáté Csaba: Egyszerű vizsgáló, tesztelőberendezések* c. cikkének utolsó áramköre. Ez a kis eszköz a tranzisztor lábsorrendjének ismeretében jelezni tudja a tranzisztor NPN vagy PNP voltát a megfelelő LED-del, valamint zárlatát vagy szakadását mindkét LED felhasználásával. (Zárlat: mindkét LED világít, szakadás: mindkét LED sötét.) Az egyszerűsítés lényege: az oszcillátor befér egy hatlábú PIC10F320-ba. (Programhurkos ciklusidőzítéssel akár egy PIC10F200 is elég lenne hozzá). Külső frekvenciameghatározó elemekre nincs szükség, az összes kimenőfrekvenciát, így a H-híd ebben a változatban1 kHz-es vezérlő frekvenciáját is, a belső oszcillátor frekvenciájából osztjuk le. A meghajtáshoz szükséges H-hidat a két komplementer tranzisztorpár helyett a mikrovezérlő két portkimenete alkotja. Ezek HCMOS jellegűek, terhelhetőségük erre a célra megfelel. Az **1. ábra** a tranzisztorvizsgáló kapcsolási rajza. A két *E* jelű kivezetés EBC és BCE sorrendű tranzisztorok egyszerű, lábhajtogatás nélküli vizsgálatát támogatja. A csillaggal jelölt *B1* kivezetés a bázis meghajtásának eredeti megoldása, használata esetén a működés is mindenben megegyezik az eredetivel. Kétszínű antiparallel LED alkalmazásának sincs akadálya.

A szintén csillaggal jelölt *B2* kivezetés és a hozzá tartozó, szaggatott vonallal keretezett áramköri részlet a *B1* alternatívája. A mikrovezérlő *1-es* lábának kimenőjele 4 Hz-es négyszögjellel modulált 16 kHz-es PWM, amiből a kb. 20, ill. kb.78% kitöltési tényező mellett az R2, C2 szűrő felváltva kb. 1 V-ot és kb. 3,9 V-ot állít elő. Az R1, bár a szűrő viselkedését is befolyásolja, alapjában véve a mérendő tranzisztor bázisellenállása. Egyszerű tranzisztoroknál mindkét feszültség elegendő a tranzisztor kinyitásához, a megfelelő polaritású LED folyamatos fénnyel világít. Darlington tranzisztornál csak az egyik feszültség éri el a nyitófeszültséget, így a megfelelő polaritású LED villog.

Most jön a rossz hír: van két parazita effektus. A könnyebb eset: az emitter oldali processzorkimenet éppen aktív MOSFET-jének csatornaellenállása emitterellenállásként kerül a mérőkörbe, így a bázisfeszültségtől függő mértékű áramkorlátozást okoz, vagyis ha hagynánk, a kétféle bázisfeszültség miatt normál tranzisztoroknál is lenne valamekkora 4 Hz-es fényerőingadozás. Ezt úgy küszöböljük ki, hogy a kollektorellenállást olyan nagyra választjuk, hogy az határozza meg a kollektoráramot. Ez legalább 1 kohm körüli értéket jelent, ami jól megvilágított környezetben nagy fényerejű LED-ek használatát indokolhatja. Ez sem problémamentes, mert a nagy fényerejű LED-ek már egész kis áramoknál is parázslanak, így egy nagyobbacska visszáram is képes némi látható fényt produkálni. Megtévesztéshez ez persze kevés. Rosszabb, és kivédhetetlen mellékhatás, hogy a kollektorfeszültségtől jelentősen eltérő bázisfeszültség miatt a vizsgált tranzisztor, amikor éppen fordított polaritású tápfeszültséget kap, inverz üzemben is határozottan nyitni tud, vagyis a világító LED mellett a másik – jelentősen kisebb fényerővel – villogni fog. (Inverz üzemben a kollektor és az emitter szerepet cserél, így a kollektorköri elemek a működés szempontjából emitterköriekké válnak. Ezek lehetetlenné teszik a nyitást a 4 Hz-es jel egyik félperiódusában, és jelentősen korlátozzák az áramot a másikban. Ismét jól jön az itt emitterellenállásként működő viszonylag nagy kollektorellenállás.) A jelenség Darlington tranzisztornál válhat kellemetlenné, ahol mindkét LED villog. Azonos típusú LED-ek használata esetén a fényerőkülönbség jelentős, viszont a LED-eket meg kell jelölni. Különböző típusúaknál ügyelni kell arra, hogy a kettő fényereje normál esetben kb. egyenlő legyen. Ehhez az 1 kohmos közös kollektorköri ellenállást esetleg ketté kell választani úgy, hogy egyikük értéke se legyen jelentősen kevesebb 1 kohm-nál. Akkor viszont le kell mondanunk a kétszínű LED-ről (az ábrán sem az van).



1. ábra

A PIC10F320 az erre alkalmas eszközfájl használata esetén az önálló PICkit2 programmal is programozható. A program hex fájlja a *Rádióvilág Kft.* honlapjáról tölthető le. (Az opcionális alkatrészek beépítése után a mikrovezérlő az áramköri környezetében nem programozható. Programozásához az R2-t vagy a C2-t el kell távolítani.)

2. Zaj-jaj

Ebben a részben két mikrovezérlős áramkört mutatok be, az elsőt nem tit-

koltan azzal a szándékkal, hogy a fenti évkönyvcikk elején leírt, modulált zajt injektáló eszköznél kisebbet készítsünk, azon az áron is, hogy a spektrumképe nem lesz olyan szép. Igaz, *lapunk 2020/12. számában* megjelent konstrukció már kompaktabb, de mi szeretnénk igazi kézhez álló, akár egy testesebb töltőtoll burkolatába beépíthető változatot készíteni, amit pl. 3 db gombelem táplál.

Látszólag a második áramkör is zajt termel, de más elven működik, és esetleg más célra is szolgálhat.

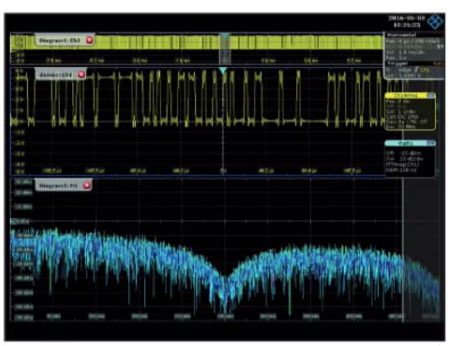
2.1. A digitális módszer

Az ezzel a módszerrel előállított zaj időtartománybeli képe nagymértékben eltér a megszokott zajétól: a mikrovezérlő kimenetén nézve szigorúan egyforma (kb. nullától tápig) amplitúdójú, véletlenszerű, de kvantált szélességű impulzusok és ugyanilyen tulajdonságú impulzusszünetek sorozatából áll. Spektruma azonban bizonyos tartományon belül nagyon hasonló az analóg zajforrás zajáéhoz, bár vonalas szerkezetű. Egyszerű megvalósításban (ld. *A kis hangoskodók, RTÉK 2018*) nagyobb tartományt nézve, a digitális zajspektrum |sin(x)|/x jellegű burkolóval rendelkezik, aminek első nullhelye a léptető órajel frekvenciája. A módszert általában célhardverben alkalmazzák, ahol az órajel frekvenciája több száz megahertz, esetleg akár néhány gigahertz is lehet, így az amplitúdódócsökkenés miatt széles tartományban nem kell aggódni.

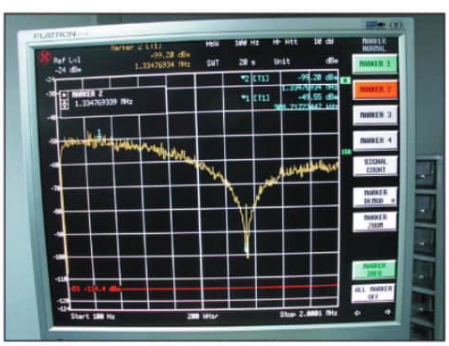
Mikrovezérlős megvalósításban a fő probléma az, hogy az álvéletlen bitsorozat előállítása egy véges hosszúságú programhurokban történik, aminek a frekvenciája a mikrovezérlő órafrekvenciájának csupán törtrésze, így az első nullhely meglehetősen alacsony frekvencián jelentkezik. Egy ilyen spektrumkép látható a **2. ábrán**, ami a *2018-as évkönyvben* megjelent ábra ismétlése. Ott az első nullhely frekvenciája mindössze 250 kHz volt. Az álvéletlen sorozat rövidítésével (rövidebb léptetőregiszter használata = kevesebb léptető utasítás) a hurok hossza néha rövidíthető, bár ezt az előnyt a visszacsatoló bit esetleg hosszabb kiszámítása semmissé teheti. Így például a 31 és a 39 bites léptetőregisztert használó hurok ugyanolyan hosszú. Gyorsabb utasításvégrehajtással azonos hurokhossz mellett a ciklus arányosan gyorsul. Az olcsón megvalósítható gyorsítás legegyszerűbb módja az, hogy a programot áthelyezzük egy újabb, egyszerre olcsóbb és gyorsabb mikrovezérlőbe. Ez esetünkben az ATtiny412 lesz. Valójában a nettó 6 forinttal olcsóbb 212 is megfelelne, de egy fejlesztő ekkora árkülönbség mellett hajlamos a nagyobb kapacitásút választani. A kitűzött cél elérése érdekében a mikrovezérlő másodállásban egy 1 kHz-es négyszögjelet is előállít. A modulációt a mikrovezérlő belső programozható logikája végzi. A léptetőregiszter effektív bitszáma az eredetileg tervezett 31 helyett 39. Ezzel az álvéletlen sorozat periódusideje több, mint 114 óra!

Az ATtiny412 az AVR mikrovezérlők családjába tartozik, melynek ismertetése *jelen Évkönyvben, Hriczó István (HA6ZX)* cikkében található. A választott nyolclábú mikrovezérlő legmagasabb belső órafrekvenciája 20 MHz, és legtöbb utasításának végrehajtási ideje 1 óraciklus. Ha ezt összevetjük a PIC12F1xxx család leggyorsabb tagjának 32 MHz maximális órafrekvenciájával és négyciklusos utasításidejével, kettő és félszeres előnyt tapasztalunk az ATtiny javára. A 2018-ban publikált PIC-es változat ráadásul egy lassúbb, 16 MHz maximális órafrekvenciájú mikrovezérlőn futott, első nullhelye 250 kHz-en volt. Ez már ötszörös eltérés, feltéve, hogy egyforma hatékonyságú utasításokat tudunk használni. Ha nem, az inkább a nagyobb utasításkészletű, speciális memóriaelrendezésű AVR-t hozza további előnybe. A PIC program AVR-es megfelelője („mini" program) összehasonlítás céljából készült. A nullhely a PIC-es 250 kHz-ről 1,25 MHz-re tolódott, ami igazolta az ötszörös gyorsulást. Optimális regiszterkiosztással egy utasítást meg lehet takarítani, amivel igazolhatjuk a járulékos előnyt. Az első nullhely ebben az esetben 1,333 MHz lehet. A **3. ábrán** bemutatott spektrum az 1,33 MHz-es változathoz tartozik. Jellegzetessége, hogy 1 MHz-ig a teljesítmény kb. 10 dB-lel csökken, és hogy a ciklusfrekvencia „áthallása" miatt 1,33 MHz-en és többszörösein a nullára esés helyett lokális csúcs jelenik meg. Szélesebb sávban vizsgálva a 20 MHz-es oszcillátorfrekvencia áthallása és a 20 MHz és többszörösei körüli oldalsávok hatása is jól kimutatható. A kétféle ciklusidőzítés között az a különbség, hogy az 1,25 MHz osztója a 20 MHz-nek, az 1,333 MHz viszont nem, így az oldalsávok közötti átfedés eltérő jellegű lesz. Ez a két program elsősorban alapsávi felhasználásra alkalmas, a gyorsabb változat kb. 400 kHz-ig fehérzajnak tekinthető. A **4. ábra** 50 MHz-ig mutatja az 1,25 MHz-es változat spektrumát. Figyelemre méltó, hogy periodikusan viszonylag nagy zajamplitúdók jelennek meg, így esetenként ezek a frekvenciatartományok is kihasználhatók, pl. az ábrán látható 1,25 MHz-es változat egyik lokális maximuma 10,7 MHz közelében van. A felvételek 20 dB-es csillapító beiktatásával, és az illesztetlen kimenet miatti további osztással készültek, vagyis a leolvasható teljesítményértékekhez kb. 26 dB-t hozzá kell adni.

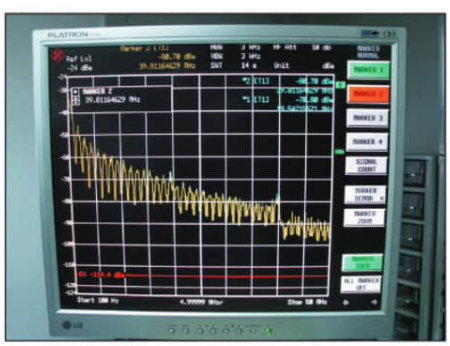
A zajgenerátor kapcsolási rajza az **5. ábrán** szerepel. Az áramkör két tesztkimenettel – *M1*, *M2* – is rendelkezik. Ezeken az 1 kHz-es négyszögjel, illetve az álvéletlen bitsorozat (a digitális zaj) jelenik meg. A tényleges kimenet üzemmódja modulált ill. modulálatlan zaj lehet a Jp jumper bemenet szintje



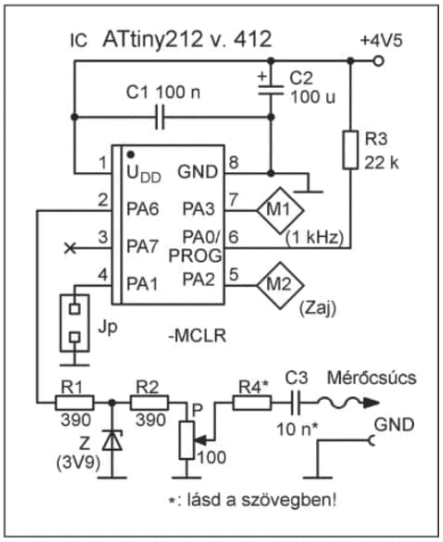
2. ábra



3. ábra



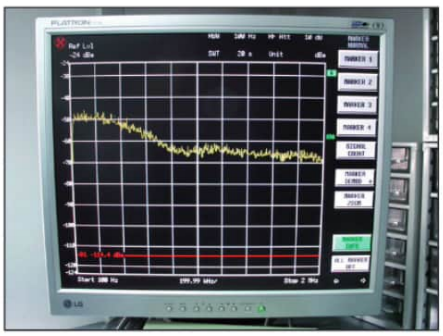
4. ábra



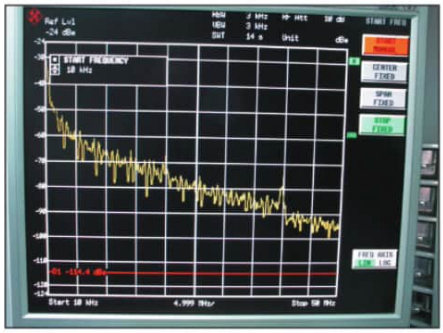
5. ábra

szerint. A bemenet hatása azonnali, így kapcsolót vagy nyomógombot is használhatunk a jumper helyén. A kimenőáramkörben található Z-dióda könnyen belátható módon nem a kimenőszintet korlátozza, és a zajhoz való hozzájárulása is elhanyagolható, hanem a kondenzátoron keresztül visszajutó, esetleg veszélyes nagyságú feszültségimpulzustól védi az áramkört, amikor jelentős potenciálon levő pontra tapintunk.

Bár a spektrumot széles sávban egyenletessé tenni nem tudjuk, enyhíthetjük a problémát, ha a ciklus hosszát is véletlenszerűen változtatjuk. Ettől persze a ciklus átlagos órafrekvenciája lassul (kisebb frekvencián kezdődik az esés), és mivel az összenergia jó közelítéssel állandó, amivel feltöltjük a gödröt, az máshol hiányozni fog. Kíváncsiságból több ilyen programváltozat is készült. Ezek mindegyike úgy működik, hogy a ciklus hosszát álvéletlen számú lépéssel nyújtja. A különbség a nyújtásra rendelkezésre álló lépések számában van. A „t2” programban kétféle hurokhosszúság lehetséges, a hosszúságok relatív prímek, hogy először a két hurokfrekvencia legkisebb közös többszörösén alakulhasson ki nullhely.



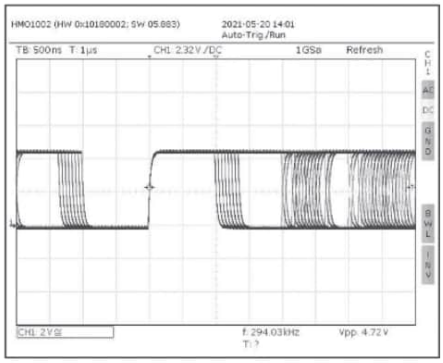
6. ábra



7. ábra

A **6. ábra** felvétele szerint a teljesítménycsökkenés 0 és 2 MHz között kb. 20 dB, aminek a nagy része 400 és 900 kHz közé esik. Ez egyes esetekben akár meg is felelhet. A probléma a szélessávú spektrum. Az egyik frekvencia n-edik, és a másik m-edik többszöröse néhol nagyon megközelíti egymást, ami a spektrum változatos hullámzását eredményezi (**7. ábra**).

A többi program kerek 2 hatvány számú lehetséges ciklusidővel rendelkezik. A legrövidebb hurokhosszuk 1 us, a lehetséges nyújtások lépésköze 50 ns. A „t4” program négyféle, a „t8” nyolcféle, a „t16” 16 féle hosszabbítási lehetőség közül válogat véletlenszerűen. A „t16” átlagos bitideje a leghosszabb, kb. 1,4 us. A **8. ábra** oszcilloszkóp felvétele a „t8” programról készült, 3 s utánvilágítási idővel. Ez eléggé hosszú idő ahhoz, hogy a felfutó referenciaélhez képest az összes lehetséges legközelebbi lefutó él helyzete stabilan kirajzolódjon. Így jól látható az 1 us-os minimális bitidő, és annak változatai, 50 ns különbséggel. A 20 MHz-es oszcillátorfrekvencia hatását is megfigyelhetjük. A **9. ábrán** ennek a jelnek a szélessávú spektruma látható. Feltűnően erősek a 20 és 40 MHz körüli oldalsávok. A „t16” spektruma ennél lényegesen egyenletesebb, bár a 20 és 40 MHz körüli kiugrások kisebb mértékben még itt is megtalálhatók. Ezért szélessávú alkalmazásra a „t16” bizonyult a legalkalmasabbnak. Ez minimális hullámzással indul, az első 10 MHz-en gyorsan (kb. 37 dB-t) esik, majd 50 MHz-ig kb. 10 dB a további esése. Levonhatjuk tehát azt a következtetést, hogy a nagyobb frekvenciaválaszték előnyös az egyenletes nagyfrekvenciás viselkedés szempontjából, viszont a kezdeti esés alacsonyabb frekvencián indul és meredekebb, mint a kevesebb frekvenciát váltogató programok esetében.



8. ábra

Az ATtiny412 programozásához UPDI programozó készülék szükséges. Korábban PIC mikrovezérlőkkel foglalkozók számára a PICkit4 az 5.45-ös MPLAB-X alatt egy lehetséges megoldás, ha a megfelelő adaptert elkészítik. Az összes programváltozat assembly nyelven íródott forráskódja megtalálható a megfelelő alkönyvtárban, így bárki kipróbálhatja bármelyiket. Továbbfejlesztésükhöz is használható az MPLAB-X, ha valaki azt szokta meg.

9. ábra

2.2. A félanalóg módszer

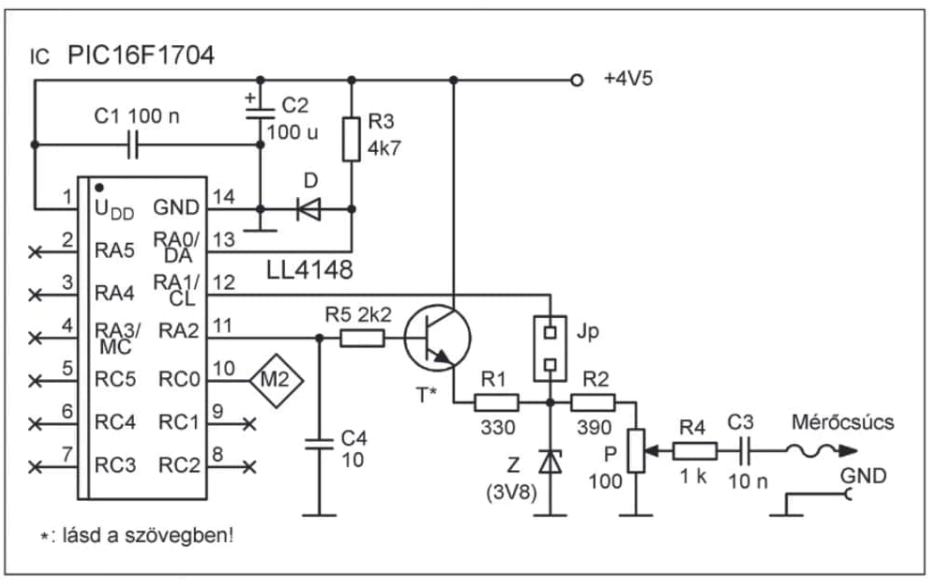
A digitális álvélelen sorozat valójában periodikus bitsorozat, de periódusideje igen hosszú, az ismertetett változatokban több, mint 114 óra. A félanalóg módszernél tárolt mintákat játszunk vissza D/A átalakítón keresztül, így praktikus okból az itt használt álvéletlen sorozat az előzőnél nagyságrendekkel rövidebb, viszont az elemei 1 helyett 8 bitesek. Példánkban egy PIC16F1704 típusú mikrovezérlőt használunk egy 512 elemű sorozat D/A konverteren keresztüli lejátszására. A táblázatot a lehető leggyorsabb módszerrel, indexregiszter segítségével címezzük. Az ilyen hurok minimális hossza 6 utasítás, de a mi hurkunk 10 utasításból áll, mert az *RC0* kimenetre (*M0* mérőpont) szinkronjel kerül, hogy az álvéletlen sorozatot analóg oszcilloszkópon is megállíthassuk. A szinkronjel a zajciklus periódusához szinkronizált négyszögjel, ami (a kezdőlap címének +1 konstans bitjétől eltekintve 9 bites) táblacím felső bájtjának alsó bitje. A teljes szó kimegy a portra, de a többi lábon nem tud megjelenni. Ezt a négy többletutasítást később elhagyhatnánk, de a D/A átalakító már így is megszegett véges beállási ideje miatt sokat nem nyernénk vele. Ugyanígy nem lenne lényegesen jobb a helyzet AVR mikrovezérlő alkalmazása esetén. A korlátozó tényező ott is a D/A átalakító beállási ideje lenne. Az alacsony mintafrekvencia miatt az így előállított zajszerű jel keskenysávú alkalmazásra való. Ez a jel 512 ismert pontból áll, és így a sorozat elemeinek ismeretében könnyen reprodukálható. Márpedig ami reprodukálható, az el is tüntethető, csak a megfelelő amplitúdót és fázist kell megtalálni.

Az eredeti alkalmazásra gondolva ebben a változatban is van 1 kHz-es moduláló négyszögjel. A moduláció úgy valósul meg, hogy az egyik portkimenetet söntkapcsolóként használjuk.

A félanalóg változatot bemutató **10. ábra** kissé bonyolultabb a digitálisnál: a D/A konverter nagy és változó kimenőimpedanciája miatt követő erősítő alkalmazása szükséges. Bár a választott típusban lenne erre a célra szolgáló erősítő, más megoldást, egy egyszerű, de gyors emitterkövető fokozatot választottunk. Annak érdekében, hogy a bázis-emitter dióda nyitófeszültsége mindig meglegyen, a DAC talppontját a D dióda nyitófeszültségével megemeltük. *Ettől kezdve a mikrovezérlőt a kész áramkörben nem tudjuk programozni!* A védőáramkör, ami egyben kimeneti osztó is, az 5. ábrán láthatóhoz hasonló. A moduláló jel jumperen keresztül érkezik a kimeneti osztó Z-diódás pontjára. Nyitott jumperrel a kimeneten csak a zaj mérhető. A jumpert akár kis kapcsolóval is helyettesíthetjük. A mikrovezérlő moduláló kimenete nyitott draines, így alacsony szinttel vezérelve nem terheli, magas szinttel vezérelve a 10 ohm nagyságrendű ellenállásán keresztül söntöli a kimenetet. Bár a zaj nem tűnik el teljesen, a létrejövő kb. 90% mélységű amplitúdómoduláció céljainknak megfelel.

Az alkatrészekkel kapcsolatban megjegyezzük, hogy az R4 és a C3 a vizsgálati pontok várható legnagyobb feszültségére méretezendő. Pl. elektroncsöves készülékek vizsgálatához 1812-es méretkódú 10 nF-os, 1000 V-os, X7R dielektrikumú kerámiakondenzátort és 1 kohm értékű soros ellenállást használhatunk. Ha csak törpefeszültségű áramköröket fogunk vizsgálni, akkor az R4 elhagyható. A T bármilyen típusú, SOT-23 tokozású VHF npn tranzisztor lehet.

Mindkét verzió összes programváltozata a ZAJ alkönyvtárban található.



10. ábra

3. Akusztikus feszültségindikátor

Magyarra fordítva: egyszerű feszültség-frekvencia konverter, a hangfrekvenciás sáv egy részét lefedő kimenettel. Az alábbiakban ismertetendő áramkör konkrét feladatra, egy GDO minimumának (dipjének) indikálására készült, tehát a feszültségjelet közvetve a GDO demodulátoráról kapja. Használatával frekvenciaállítás közben nem kell egy műszer mutatóját figyelni. Bárhol használható, ahol mérési tartományán belül feszültségminimumot vagy maximumot kell indikálni, miközben szemünk mással van elfoglalva. Indikátort készítünk, tehát a feszültség-frekvencia átalakítás pontossága nem kritikus. Amiből nem engedhetünk, az a megfelelő felbontás mellett az átalakítás függvénykapcsolatának monoton jellege.

3.1. Négyszöggenerátoros változat

Az egyszerű akusztikus indikátorok általában feszültségvezérelt négyszöggenerátorok. Ilyeneket akár három tranzisztorból és RC elemekből is összse lehet hozni, az analóg működési elv a fenti két elvárást automatikusan teljesíti. A négyszögjel hangosságérzet szempontjából kedvezőbb, mint az azonos amplitúdójú szinusz. Mikrovezérlővel ugyanez kisebb helyen, frekvenciameghatározó RC elemek nélkül is megoldható, pl. egy 8 bites PIC mikrovezérlővel 10 bit (1024 különböző frekvencia) felbontással. Áramkörünk lelke egy PIC16F15313 típusú mikrovezérlő, SO-8 tokban. Ez a viszonylag új típus olyan perifériakombinációkat is megenged, amilyeneket a régebbi nyolclábúak egyike sem, emellett teljeskörű PPS-sel rendelkezik, vagyis bármelyik digitális periféria ki- és bemenet bármelyik erre alkalmas lábra konfigurálható. Ennek a szinuszos változattal való lábkompatibilitás megteremtésénél vesszük hasznát (ld. később). A mikrovezérlő belső referenciaforrásához igazodva két feszültségmérési tartomány (0-1 V, ill. 0-4 V) áll

rendelkezésünkre, mindkettő a kb. 200 Hz – kb. 2150 Hz frekvenciatartományra leképezve. Mint a méréshatárokból látható, a GDO által szolgáltatott jel általában némi kondicionálást igényel.

Az alapműködés egyszerű: egy 10 bites A/D átalakító 1 mV ill. 4 mV felbontással digitalizálja az analóg bemenetre adott feszültséget, majd a kapott értéket némi transzformáció után az NCO frekvenciaregiszterébe írja. Az órafrekvencia „szerencsés" megválasztása folytán az átalakítási tényező kb. 1,907349 Hz/digitalizált feszültségegység, így a transzformáció egyetlen összeadásból áll: a beolvasott értéket 105-tel növeljük. A növelés nélkül ugyanis a nulla körüli értékek infrahangokat generálnának, így viszont a minimális frekvencia 200 Hz körüli lesz. Ezt egy kisméretű hangsugárzó is már elfogadható hatásfokkal átviszi. Egy segédkimenetet is létrehoztunk egy LED számára. Ez akkor aktiválódik, amikor a bemenőfeszültség eléri vagy meghaladja a maximális konvertálható értéket, és azt jelzi, hogy ebben a tartományban (4 V és a tápfeszültség között) a frekvencia nem változik, vagyis a hangmagasság indikálásra nem használható. Ilyenkor az érzékenység csökkentése a megoldás.

A gyakorlat kissé bonyolultabb az elméletnél: a 10 bites A/D kimenete a felszedett zaj hatására nem stabil. Ez a frekvenciát érdemben nem befolyásolja, mert a legmagasabb előállított frekvencia egyetlen félperiódusa alatt is több mintavétel történik, így a hibák a fázisakkumulátorban kiátlagolódnak. Kellemetlenebb a helyzet a LED-kimenettel. Ennek a szintje átlagolás nélkül a billenési pont közvetlen környezetében sűrűn fel-le ugrálna. Ezt a problémát (átlagolás helyett) a LED vezérlésébe iktatott *hiszterézis* oldja meg. Az alapesetben 4 V-os méréshatárt az *RA4* bemeneten elhelyezett jumperrel (más alkalmazásban esetleg kívülről elérhető kapcsolóval) csökkenthetjük 1 (1,023) V-ra, de ezt a jumpert (vagy kapcsolót) a mikrovezérlő csak közvetlenül indulás után vizsgálja, így bármelyik irányú méréshatárváltáskor a mikrovezérlőt újra kell indítani. Ezt a tápfeszültség ki- és bekapcsolása nékül, a *Reset* bemenet nullára húzásával is megoldhatjuk. Ettől leáll a mikrovezérlő, így hangot sem generál. Ez az állapot a K kapcsolóval tetszőleges ideig fenntartható. Annak érdekében, hogy jel nélkül (pl. a tekercsek cseréje közben) az áramkör csendben maradjon, a felső határ LED működtetéséhez hasonló módon a 0 mV megközelítésekor az ellenütemű hangkimenetet letiltjuk. Ha ez mérés közben következik be, növelni kell az érzékenységet. Ez a funkció is hiszterézises, vagyis a kikapcsolás kisebb feszültségnél történik, mint a visszakapcsolás. Ha tehát valaki a csendes szakasz megfelezésével szeretné meghatározni a minimum helyét, a mindkét irányú közelítéssel nyert kikapcsolási frekvenciaértékek középértékét kell vennie, mert a kikapcsoláskor és a hang visszatérésekor leolvasott frekvenciából számított középérték a hiszterézis miatt a hangolás irányától függően eltolódik. A K kapcsoló beépítése nem feltétlenül szükséges, mert a készülék ki- és bekapcsolása a K mindkét funkcióját ellátja.

Az áramkör specifikációja:

Tápfeszültség: +5 V szűrt egyenfeszültség (Az 1 V-os méréshatár 3 V tápfeszültségről is működik).
Méréshatárok: 0-1,023 ill. 0-4,095 V.
Órafrekvencia: 4 MHz belső.
Átalakítási tényező 1,024V-os méréshatárban: kb. 1,907349 Hz/mV.
Frekvenciaeltolás (0 V-nál):
kb. 200 Hz (de kb. 220 Hz alatt a hangkimenet letiltva).
Maximális frekvencia (amikor a LED világít): kb. 2150 Hz.

A frekvenciák kerekített értékek, és a mikrovezérlő belső oszcillátorának pontos működését és (szintén belső) referenciafeszültségének pontosságát feltételezik. Az ellenütemű hangkimenet piezó hangsugárzóhoz készült, de a kapacitív terhelést védelem nélkül nem tűri. Ezt a problémát a kimeneteken alkalmazott két-két védődiódával oldhatjuk meg.

A program MPLABX alatt, az MCC segítségével, C nyelven készült. Hex fájlja (negyszog.hex) megtalálható a cikkhez tartozó csomagban. A PIC16F15313-at a PICkit2 nem programozza.

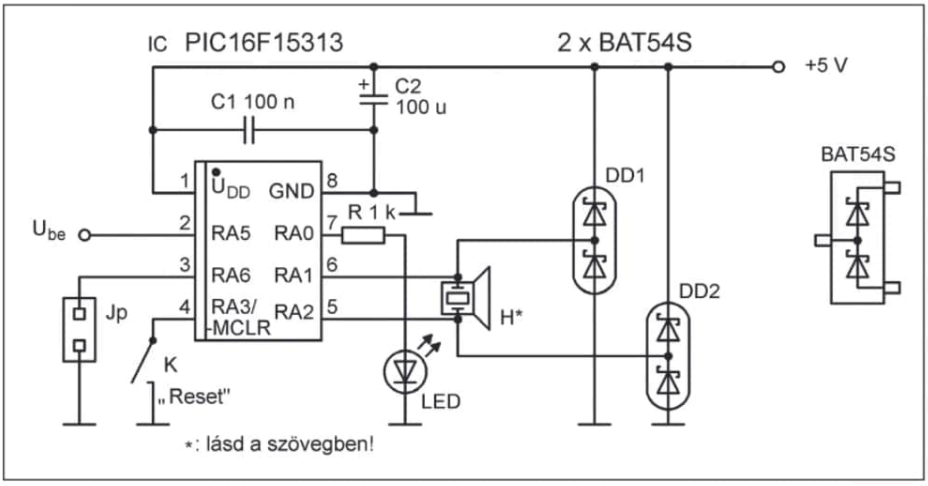
3.2. Ugyanaz szinuszosítva

Az előbbi indikátor tesztelése közben kiderült, hogy amit a hangosságérzet szempontjából kedvezőnek ítéltünk, más szempontból káros lehet. A nagy harmonikustartalom következtében, ha a hangsugárzónak az átviteli sávjában erős rezonanciája van, ami keskenysávú piezosugárzóknál tipikus, előfordulhat, hogy egy-egy harmonikus elnyomja az alapfrekvenciát. E probléma megoldására készült a szinuszos változat.

A feladat klasszikus digitális megoldása a DDS. Nézzük, pusztán egy PIC12F1822 vagy PIC12F1840 mikrovezérlő használatával mire jutunk! Az elméletre néhány korábbi cikkben már kitértünk, itt csak a gyakorlati megoldással foglalkozunk. Két kiindulási pontunk a maximális órafrekvencia (32 MHz), és az A/D felbontás (10 bit). Belső referenciát használunk, ami jumperrel most is 1,024 vagy 4,096 V-ra állítható. Ellenfázisú PWM kimenetet készítünk, így szinte automatikusan adódik a 125 kHz DDS és egyben PWM frekvencia, vele a 125 kHz-es megszakítás 64 szint felbontással. A pontok száma 256, ami egy bájttal címezhető. Kétbájtos fázisakkumulátorral a frekvenciafelbontás 1,907349 Hz, ennyi felel meg 1 digitalizált feszültségegységnek. Ez, bár más értékpárból jön ki, pontosan annyi, mint a négyszögjeles változat felbontása, így ugyanazt a transzformációt alkalmazzuk.

Az ilyen alkalmazásokban tipikusan lassan változó bemenőfeszültség szükségtelenné, az ADC sebessége lehetetlenné teszi a 8 us-onkénti (megszakításonkénti) konverziót, így csak minden 256. megszakítás indítja az ADC-t. A konvertált eredmény kezelése a főprogram dolga. A transzformáció befejeztéről a megszakítás egy jelzőbit útján értesül. Még ritkábban, indulás után egyetlenegyszer történik meg a méréshatár jumper beolvasása, vagyis a program futása közben méréshatárváltás itt sem lehetséges.

Megtartottuk a négyszögjeles változat kényelmi szolgáltatásait (méréshatártúllépés jelzése LED-del, a hang némítása kb. 220 Hz alatt). A kapcsolás a PIC12F1840 kötöttségei alapján állt össze, utólag ehhez igazodott a négyszögjeles változat eredetileg más lábkiosztáshoz készült programja. Így a két változathoz egységes nyomtatott áramkör használható, csupán a mikrovezérlő típusa és programja különbözik. Az egységesített kapcsolás a **11. ábrán** látható. A hangsugárzók átviteli karakterisztikája nem egyforma, ahogy az egyes emberek hallása sem, ezért a program elejére kiemelt néhány állandó (eltolás, némítás hiszterézise, némítás szintje) a közölt MPASM forrásprogramban igény szerint megváltoztatható. Erre az MPLAB v8. is alkalmas. Utána a programot a kis- és nagybetűk megkülönböztetésének tiltásával újra kell fordítani. Programozni a megfelelő



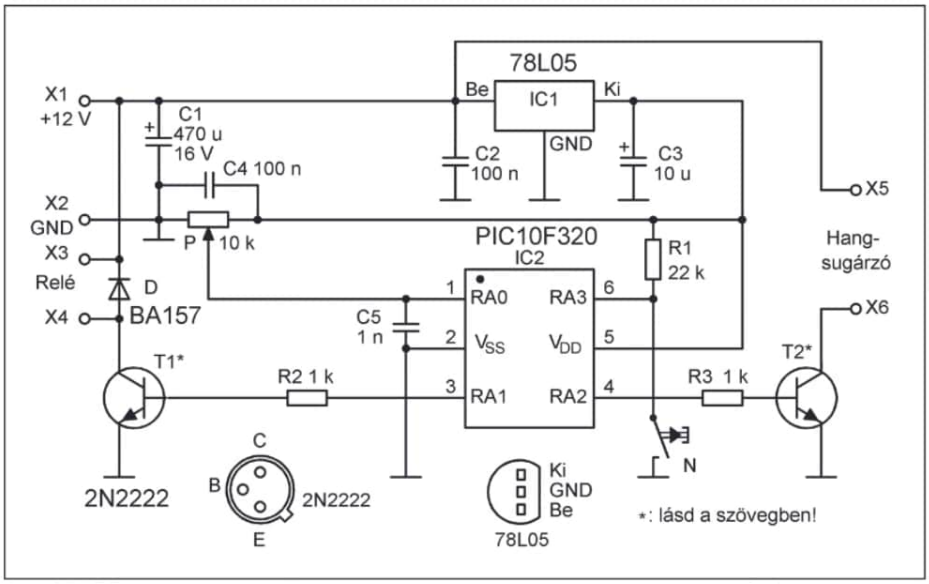
11. ábra

eszközfájl használatával akár PICkit2-vel is lehet. Az áramkör specifikációja csak annyiban tér el az előzőétől, hogy az ellenütemű kimenőjele PWM szinusz, 125 kHz vivővel. Természetesen mindennek ára van: a 125 kHz és harmonikusai miatt az áramkör tápja gondosabb hidegítést, a kimenet esetleg árnyékolást igényel.

4. Az idők szava

Előzmény: *Nagymáté Csaba: Halljuk az idők szavát!* c. cikke *(Rádiótechnika 2019/6.)*. A cikk egy akusztikus jelzésű grill-időzítőt ír le, ami a sütési idő lejártakor a sütő kikapcsolása mellett hangjelzést is ad. A sütő nem hűl le azonnal, a jelzés a beavatkozási igényre figyelmeztet. A továbbgondolt változat – tekinthetjük tréfának is – morzejelekkel szól hozzánk, hogy ne csak halljuk, értsük is.

Természetesen egy mikrovezérlő, a hatlábú PIC10F320 fogja mérni és „beszéltetni" az időt. A **12. ábrán** látható kapcsolásban a 12 V-os tápfeszültség (pl. egy dugasztápról) az *X1*, *X2* kapocspárra érkezik. Az áramkör a tápfeszültség pontos értékére nem kényes. A folyamatot a G gomb megnyomása indítja. A T1 tranzisztor nyit, az *X3*, *X4* kapcsok közé kötött relé meghúz, és húzva marad. Az idő számlálása megkezdődik. A program a számláló minden lépésekor (két másodpercenként) összehasonlítja a P potenciométer pillanatnyi állása alapján számított és a számláló szerinti időt. (A mikrovezérlő a potenciométer állását a program közölt változatában a kb. 0,3...8 perc tartományra képezi le.) Ha a kettő egyenlő, vagy a számláló szerinti nagyobb (az utóbbi eset akkor lehetséges, ha menet közben lejjebb tekertük a potmétert), a számláló leáll, a relé bont, és a T2 tranzisztoron keresztül a morze kódú hangjelzés megkezdődik.



12. ábra

A mikrovezérlő fél percig ismétlődő „R" betűt (ready = kész) küld a hang kimenetre. Ezt a következő kb. fél percben ismétlődő „SOS" követi, majd egy „RIP" (requiesca(n)t in pace) után, ami a szerző világias gondolkodásában az elpusztult étel(ek)nek szól, az időzítő elhallgat, a mikrovezérlő elalszik, gombnyomásra vár.

A jelfogó idő előtti bontását a potméter nullára tekerésével lehet kikényszeríteni. Amíg a relé húzva van, a gomb hatástalan. A relé ejtésekor induló hangjelzés a gomb megnyomásával állítható le. A gomb ilyenkor kikapcsol és elaltat. Alvásban megnyomva új időzítési ciklust indít. A gomb pergésmentesítése szoftveres késleltetés beiktatásával történik.

A potenciométer kalibrálása: A referencia a tápfeszültség, ezt az A/D átalakító 256 részre osztja. A másodpercben mért idő a digitalizált relatív érték kétszerese, vagyis beforrasztás előtt fogjuk a potenciométerünket, egy szabályozható tápegységről 5,12 V-ot adunk rá, és a középérintkezőn mért feszültséget kettővel szorozva megkapjuk az adott álláshoz tartozó másodpercben mért időt. Közelítő megoldásként beforrasztva, a saját 5 V-os tápfeszültségéről mérve is használhatjuk a kettővel való szorzást. 16 s-nál rövidebb idő a program számára kikapcsolással egyenértékű. A skála lineáris, ha a potenciométer is az, és, ellentétben az analóg változat P1-gyel történő beállításával, akkor is a helyes értéket olvashatjuk le a skálájáról, ha a potenciométert menet közben állítjuk.

A relékimenet alkalmas a *HAM-Bazárban* kapható CRYDOM D2425 típusú 25 A-es SSR meghajtására. Az SSR a csatlakoztatott készülék áramfelvételéhez és a várható maximális környezeti hőmérséklethez méretezett hűtőbordát igényel. E szempontból hátrányban van a hagyományos relével szemben. Mentségére az hozható fel, hogy a feszültség nullátmeneténél kapcsol be, és az áram nullátmeneténél kapcsol ki. A hagyományos relé ezt véletlenszerűen teszi, ami kellő védelem híján a kontaktusok gyors elhasználódásához vezethet, de a kapcsolgatott fogyasztó számára sem feltétlenül előnyös. A feszültség nullátmeneténél történő bekapcsolás a nagy kapacitív és az erősen pozitív hőmérsékleti együtthatójú rezisztív, az áram nullátmenetében történő kikapcsolás az induktív terhelés nagy áram- ill fe-

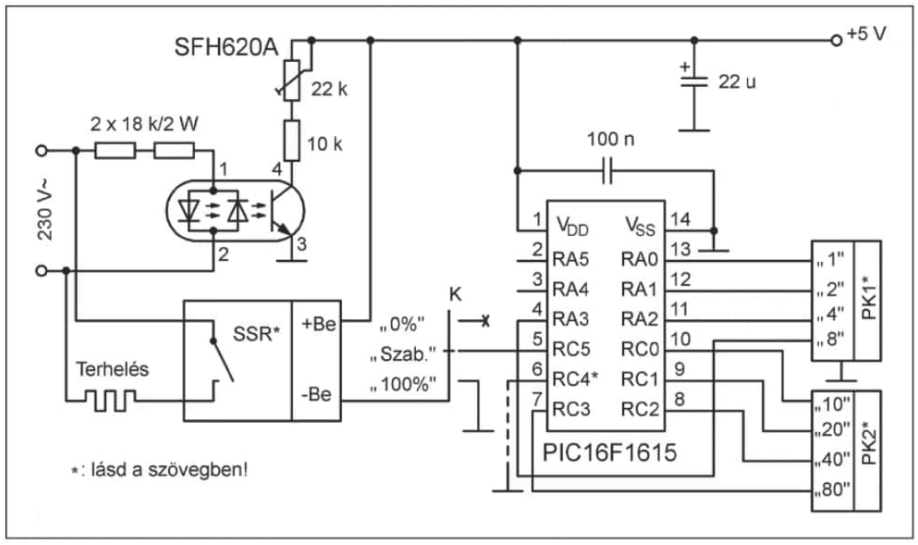
szültséglökése ellen védi az eszközt. (Az első tulajdonság pl. az izzólámpák élettartamát is kedvezően befolyásolja.)
A hálózati feszültségű rész kialakításánál a vonatkozó érintésvédelmi előírásokat szigorúan be kell tartani!

A szoftver az inicializálástól és a főhurokban történő altatás/ébresztéstől eltekintve a lelassított timer2 megszakításban futó állapotautomata 5(+1) állapottal. A morzejelek bitsorozatként (**0** = nincs, **1** = van hang a kimeneten) vannak tárolva, leadásuk így a legegyszerűbb.
A honlapon található programnak két változata van. Az egyik hangot is generál. A T2 tranzisztor csak egy önrezgő (aktív) piezozümmer tápját kapcsolgatja. Az X5-X6 kimenetpárt 12 V-os piezoszirénával használva talán még a szomszéd is átjön „segíteni". Az áramkör a második változathoz tökéletesen megfelel, a 800 Hz-es saját hanggal működő változat viszont szabad térben erősítés nélkül nem használható.

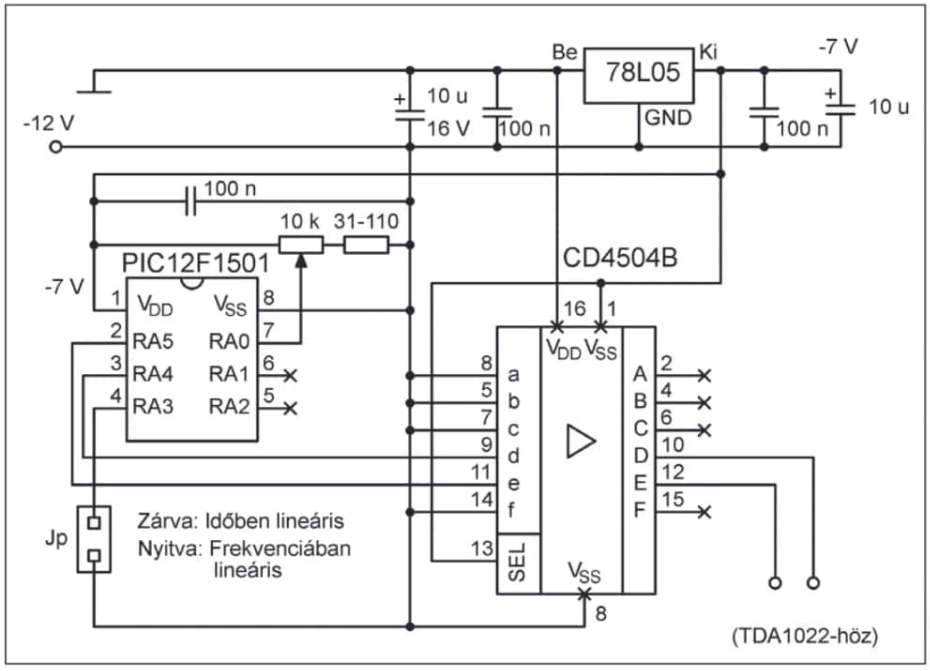
5. Teljes periódusos teljesítményszabályozás

(Debreczeny Ábel inspirációjára)

A módszer előnye, hogy lineáris és szinte teljesen tranziensmentes. Hátránya, hogy csak a több másodpercre vonatkoztatott átlagteljesítménye állandó, így alkalmazása csak lassú rendszereknél, pl. fűtésszabályozásnál jöhet számításba.
A **13. ábrán** látható kapcsolás működése: az antiparallel LED-es optocsatoló a hálózati feszültség minden nullátmenete előtt kialszik, a kollektorán felfutó él keletkezik. A P trimmerpotenciométerrel ennek a fázishelyzete állítható. Úgy kell beállítani, hogy a mikrovezérlő kimenete már a megfelelő szinten legyen, mielőtt az SSR a nullátmenetet érzékelné. Ellenkező esetben a kapcsolás egy hálózati félperiódust csúszik. Értéke azért nem fix, mert az optocsatolók átviteli tényezője jelentős szórást mutat.
A félperiódusonként jelentkező él hatására a timer1 számláló lép egyet. Amíg a számláló értéke kisebb a PK1, PK2 peremkerekes kódkapcsolókról a ciklus indulásakor beolvasott érték kétszeresénél, a kimenet bekapcsolva tartja az SSR szilárdtestrelét. Ha eléri ezt az értéket, a számláló a további impulzusok hatására tovább számol, de a kimenet már nem aktív. Amikor a számláló eléri a 200-at, nullázódik, a program ismét beolvassa a peremkerekeket, és ismét bekapcsolja a szilárdtestrelét. A program 100 hálózati periódusonként, vagyis 2 s-onként beolvassa a két peremkereket. Az eredmény: a következő 100 hálózati periódusból a szilárdtestrelé annyiban van bekapcsolva, amennyit a peremkerekeken beállítottunk. Így a kimenőteljesítmény 1% lépésközzel lineárisan szabályozható. Futó 100 periódusos ciklus közben az állítás hatástalan. Beállítás közben és az azt követő első 2 s-os ciklusban a kimenet kitöltési tényezője ismeretlen. Ha a rendszer tehetetlensége megengedi, akkor a kapcsolgatások száma csökkenthető (a ciklusidő többszörözhető) a timer1 előosztó használatával. Az adott kivitelben ez a program módosítását kívánja.
Kétféle BCD peremkerekes kapcsoló van: bontó és záró. A bontónak nulla állásban az összes érintkezője a közösre van zárva, a zárónak ilyenkor az összes érintkezője nyitott. A többi állásban a bontó bontja, a záró a közösre zárja az adott szám BCD kódjának **1** érték(ek) szerinti érintkezőjét v. érintkezőit. A kapcsolásban a közös nullára van kötve, a portbemenetek pedig belső felhúzóval rendelkeznek, így a bontó típust lehet közvetlenül beolvasni, a zárót invertálni kell. A program mindkét típust kezelni tudja. Ha az *RC4* bemenet nincs bekötve, akkor a bontót, ha nullára van húzva, akkor a zárót. A kimenet aktív szintje alacsony, az SSR-t a negatív kivezetésén keresztül kapcsolja be. Az SSR vezérlő bemenetének árama a mikrovezérlő 50 mA-es határadata folytán nem haladhatja meg a 30 mA-t. Ezt a követelményt a legtöbb DC vezérlésű típus belső áramkorlátozása teljesíti. A HAM-bazárban beszerezhető Crydom D2425 (kapcsolható feszültség 24…280 V AC, maximális áram 25 A, vezérlő feszültség 3…30 V DC, belső áramkorlát 12 mA) jó példa erre. Ez az SSR a bekapcsolással megvárja a hálózati feszültség következő nullátmenetét, ami miatt, ha a számláló bemenetre jutó jel fázisa késésben van, egy félperiódus kimarad. Ez a kis kitöltési tényezőket torzítja, de általában nem zavaró. Az SFH620A optó, bár ez a megoldás nem gazdaságos, azért került hálózati feszültségre, hogy fáziskésés ne történhessen.
A peremkerekes kapcsolókon beállítható legnagyobb szám 99, így a 100% ezzel a módszerrel nem érhető el. A nulla százaléknál meg az a baj, hogy a bekapcsolás a végérték elérésekor történik, amihez képest a kikapcsolás legalább egy félperiódust késik. A problémát a program egy kis csalafintasággal (az előző beolvasásból származó nulla letiltja a bekapcsolást) megoldja ugyan, de gyakorlati szempontból célszerű egy olyan kikapcsolási lehetőség biztosítása is, aminél a kódkapcsolókon beállított értéket nem kell változtatni. Ezek indokolják a háromállású k kapcsoló beiktatását, melynek egyik szélső állása a kikapcsolt, középső állása a szabályozott, másik szélső állása az állandóan bekapcsolt állapot.
A mikrovezérlő kiválasztása a következő szempontok alapján történt: PIC16F sorozat, minimális lábszám, és a felhasznált perifériák (timer1, impulzuskimenetű ccp1 és ccp2, clc1) megléte. Az így leszűkített választékból a PIC16F1615 volt kéznél, ezért a program erre íródott, MPLAB-X alatt,



13. ábra



14. ábra

XC8 nyelven. A honlapra a hex fájl került.

6. Ütemgenerátor TDA1022-höz

Az ismertetendő áramkör az egykor népszerű, de mára már szinte feledésbe merült TDA1022 „vödörlánc-tárolós" analóg késleltető integrált áramkörrel való kisérletezéshez készült.

A TDA1022 kétfázisú órajellel működik. A két fázis alacsony szakasza nem fedheti át egymást. A frekvenciatartomány 5 kHz-500 kHz, amivel 51,2 ms-512 us késleltetés érhető el. Ezt a tartományt digitális eszközökkel kétféleképpen fedhetjük le: frekvenciában, illetve periódusidőben lineárisan. Mivel a végcél általában a késleltetési idő beállítása, a periódusidőben lineáris megoldás tűnik logikusnak, de miért ne valósítanánk meg mindkettőt? Így, ha netán mégis előfordulna, hogy a rövid késleltetési idők tartományában finom felbontásra van szükségünk, csupán egy jumper eltávolításával és újraindítással átválthatunk a frekvenciában lineáris változatra.

Az alapeszme a CWG periféria használata a megfelelő polaritás és holtidő beállításával. Frekvenciában lineáris esetben a jelforrás az NCO, ami természeténél fogva ilyen, periódusidőben lineáris esetben pedig egy számláló/időzítő áramkör, itt éppen a timer2. A frekvenciát illetve a periódusidőt egy potenciométer határozza meg, melynek beolvasása a timer1 felügyelete alatt kb. milliszekundumonként történik. Nyolc mérést átlagolunk, majd az így kapott 10 bites erdményt megszorozzuk az 500 Hz lépésközhöz (1 ezrelék felbontáshoz) tartozó konstanssal, és ezt az értéket írjuk az NCO frekvenciaregiszterébe. Mivel ennek a konstansnak a bináris alakjában szerencsére kevés az 1-es, a szorzással gyorsan végzünk. Az 5 kHz-es alsó határt a potenciométer aljának megemelésével állítjuk be, a 91…110 ohm közötti, válogatott ellenállással. Ugyanezt az adatot használjuk fel a periódusidő beállítására is. A beállítandó idők itt 2 és 200 egység közöttiek, vagyis a periódusidő-üzemmód felbontása gyengébb, csupán 0,5% (256 us), és hogy ne legyen bonyolult a számítás, a potenciométer skálájának csak a felső négyötödét használjuk. Mivel a timer2 kimenete impulzus, kétszeres frekvenciát kell előállítani, hogy az egyik T tárolónak használt CLC frekvenciafelezés árán négyszögjellé formálja. Az NCO miatt használt 16 MHz-es órajellel azonban a kívánt osztásarány nem jön létre, így még egy T tárolót alkalmazunk, és négyszeres frekvenciából indulunk ki. Mindkét számítás lezajlik, mindkét periféria működik A program indulásakor beolvasott üzemmód-jumper csak azt dönti el, hogy a két aktív periféria kimenete közül melyik legyen a CWG bemenete.

Mindezek a hardvereszközök megtalálhatók a nyolclábú PIC12F1501-ben. Az egyetlen apró kellemetlenség a CCP periféria hiánya, ami miatt a timer1 időzítését minden túlcsordulás (pontosabban minden automatikusan indított A/D konverzió) után újra be kell állítani, az egyszerűség kedvéért csak tmr1h írásával. A névleges 1 ms így nem lesz pontos, de egyforma igen.

A **14. ábrán** látható áramkörben a feszültségeket a TDA1022-höz igazodva az NMOS konvenció szerint jelöltük, vagyis nem a *GND*, hanem a *-12 V* a legnegatívabb szint. Ezen ül a mikrovezérlő *+5 V*-os tápfeszültsége. A szintillesztést egy CD4504B két kapuja végzi. Ez az áramkör nem invertál, ezért a mikrovezérlő úgy van programozva, hogy két fázisának a szokásostól eltérően ne a magas, hanem az alacsony szakasza ne fedjen át.

***

Az összes felsorolt program egyetlen zip fájlba tömörítve letölthető a *Rádióvilág Kft. honlapjáról.* Az assembly nyelvű programok esetében forráskóddal együtt, C programoknál csak a hex fájl. Az utóbbiak esetleges módosításával kapcsolatos igény a szerzőnél jelezhető a szerző e-mail címén.

1% Segítsen Ön is!
Reményi István Rádióamatőr Alapítvány
18226429-1-43
Az alapítványt támogatja a
RÁDIÓTECHNIKA
Elektronika FÜZETEK

A kvarcoszcillátoroktól a MEMS rezgéskeltőkig

Dr. Madarász László okl. villamosmérnök, madarasz@3lan.hu

A nagy pontosságú, tömeggyártható oszcillátorok nélkül a mai elektronika elképzelhetetlen lenne. Ugyanakkor máig ezek az oszcillátorok mechanikai rezgések felhasználásával működnek, bár az egyre újabb, korszerűbb rezonáns elemek alkalmazásával. A mechanikai rezgés felhasználásának fontos előnye, hogy ezek az oszcillátorok az elektronika tápfeszültségének változásaira kevésbé érzékenyek, ugyanakkor azonban a környezeti hatásokra, elsősorban a hőmérsékletváltozásokra erőteljesen reagálnak.

A mikrolektronika az LC-oszcillátorokat korábban egyáltalán nem alkalmazta belső elemként, az LC rezgőkör elemeinek integrált gyártása nem volt megoldható. Pontos frekvenciájú, nagy stabilitású órajelek, impulzussorozatok előállítására az elektronikai gyakorlatban a kvarcoszcillátorokat használták. Olcsóbb, bár kevésbé pontos megoldás a kerámiarezonátorral épített oszcillátor. A legkevésbé igényes rezgéskeltőkben RC hangolóelemeket használtak fel.

Ha beintegrált áramkörként alakítják ki az oszcillátort, vagy összetettebb áramkör (pl. mikrovezérlő) belső áramköri egységeként, akkor egészen a 2000-es évekig csak az RC-oszcillátor használata jöhetett szóba, mert ezt lehetett teljes egészében beintegrálni egy monolitikus IC-be, ennek minden elemét elő lehetett állítani a mikroelektronikai áramkörök gyártósorán használatos szokásos lépésekkel. Ha egy beintegrált oszcillátort rezgőkvarccal vagy kerámiarezonátorral kívántak hangolni, akkor a frekvenciameghatározó tagot az integrált áramkörön kívül kellett elhelyezni, külső elemként kellett az IC-hez csatlakoztatni.

1. ábra

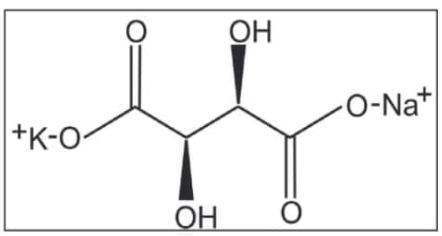
A mikroelektronika, valamint a mikromechanikai rendszerek (MEMS; *M*icro-*E*lectro-*M*echanical *S*ystems) fejlődése tette lehetővé, hogy monolitikus oszcillátor IC-t alakítsanak ki, nagy frekvenciapontossággal, kvarckristály vagy kerámiarezonátor használata nélkül. Ezeket a MEMS rezgéskeltő áramköröket kvarcmentes oszcillátoroknak (Crystal-Free Oscillator) is nevezik, az IDT gyártmánycsaládnál ez az elnevezés egyúttal terméknév is lett (CrystalFree MEMS Oscillator). A MEMS technológia lehetővé teszi, hogy összetett integrált áramkör, pl. mikrovezérlő belső, beintegrált oszcillátort tartalmazzon ezzel a megoldással. A továbbiakban áttekintjük a MEMS oszcillátorokhoz vezető utat és a jelenlegi legfontosabb típusokat.

Oszcillátorok kvarckristállyal, kerámiarezonátorral – a monolitikus kivitel gátjai

Időszámításunk szerint 800 körül sikerült először elkülöníteni a boroshordók alján levő üledékből, a dugókon tapadó lerakódásokból a borkősavat. Az új anyagot nagy energiával kezdték vizsgálni, mint akkoriban az egyéb új felfedezéseket általában. Különféle vegyi reakciókkal, fizikai igénybevételekkel keresték az új anyag hasznosítható viselkedési formáit, felhasználási lehetőségeit. A borkősav, a $C_4H_6O_6$ (más néven 2,3-dihidroxibutándisav, szőlősav, acidum tartaricum) ami színtelen monoklin kristályokat alkot, sok meglepetéssel szolgált. Sokféle kémiai anyaggal tudott sókat alkotni, a tiszta borkősav pedig kétféle kristályvariációjában balra illetve jobbra forgatja el a polarizált fény síkját (ezt a különleges viselkedést pl. *Pasteur* észlelte vizsgálódásai során).

Számunkra a legérdekesebb a borkősav káliummal és nátriummal alkotott kettős sója, a kálium-nátrium-tartarát, a $C_4H_4KNaO_6 \times 4\,H_2O$. A nagyméretű, fehér vagy kékes-fehér rombos kristályokat alkotó vegyület a fizikusok figyelmét is felkeltette, különösen amikor felfedeztek a kristály viselkedésében egy újszerű elektrofizikai hatást, a *piezoelektromosságot*. A piezoelektromos hatást *Jacques* és *Pierre Curie* (**1. ábra**) fedezték fel, 1880-ban, ezt követően derült ki a kálium-nátrium-tartarát ilyen viselkedése is.

A kálium-nátrium-tartarát vízmolekulákat nem ábrázoló molekulaelrendezése a **2. ábrán** látható, a vegyészek így szokták bemutatni ezt a molekulát, a szénatomokra is csak az ábra szerzekezeti felépítése utal. Ezt a kálium-nátrium kettős sót először a francia La Rochelleben dolgozó patikus, *Pierre Seignette* állította elő 1675-ben. Ezért kapta az új anyag a másik két, közismertebb elnevezését: Seignette-só, illetve Rochelle-só. Az elektromos kísérletekben gyakran alkalmazták piezoeletromos viselkedését kihasználva, így az első fonográf-változatokban is szerephez jutott. A későbbiekben a kristály rezonanciájára épülő oszcillátorok építésének lehetőségével is több kutató próbálkozott. (Megjegyezzük, hogy a szerény minőségű lemezjátszók hangszedő-



2. ábra

3. ábra

jében egészen a '70-es évek végéig használták.)

1917-ben *Alexander M. Nicholson* a Bell Telephone Laboratories kutatója építette meg az első kristályoszcillátorát, amiben Rochelle-só kristályt alkalmazott. Megoldását 1918-ban szabadalmaztatta.

Mára azonban a korszerű piezoelektromos anyagok – például piezokerámiák – erről a területről kiszorították, ugyanakkor számos más alkalmazási lehetőséget találtak számára (élelmiszeripari hasznosítás, tisztítószer-gyártás, tükrök fényvisszaverőbevonatának készítése, kémiai tesztek redukáló anyaga, de pl. a Béres Csepp Forte-ban is megtalálható).

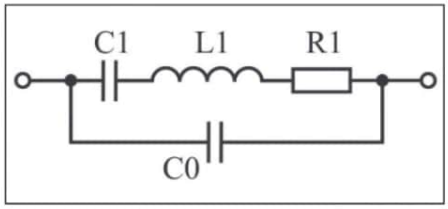
Az első kvarckristály-oszcillátor, melyben a szervetlen kvarcot (kristályos SiO_2) alkalmazták rezonáns alkatrészként (a **3. ábrán** láthatók a szennyeződésektől mentes, színtelen kvarckristályok) 1921-ben készült el. Ezeket a kvarcoszcillátorokat *Walter Guyton Cady* (**4. ábra**) építette meg, aki két kapcsolódó megoldást szabadalmaztatott már 1921-ben: a kvarcrezonátort és a kvarckristály rádióban történő felhasználását. Még Nicolson 1918-ban megszerzett szabadalmi elsőbbségét is megkísérelte elvitatni. Cady az addigi

4. ábra

próbálkozásokban szereplő Rochelle-só helyett használta a kvarckristályokat, és meglepően jó eredményekre jutott. Rövidesen megfelelő metszési megoldásokkal akár az órák 32 768 kHz-es alacsony frekvenciájú kvarcait is el lehetett készíteni, és gyárthatók lettek a sok megahertzes rezgőkristályok is. Ha a kvarckristály frekvenciáját egyszerűen a geometriai méretei határoznák meg, ezt a frekvenciatartományt rendkívül nagy méretbeli különbséggel lehetne csak elérni. De a különféle metszési síkokkal, módokkal is jelentősen befolyásolható a rezonancia frekvenciája. (Például az említett 32 768 Hz-es, azaz 2^{15} Hz-es kristály kivitele ma miniatűr hangvilla, rendkívül magas jósági tényezővel és igen csekély disszipációval.)

A kvarckristály (Quartz Crystal) is a piezoelektromos jelenség révén alkalmas oszcillátor kialakítására. A kristályból kimetszett lapka két szemben levő párhuzamos felületén fémezéssel elektromos csatlakozási lehetőséget alakítanak ki, bár a korai rezgőkvarcok még nem voltak fémezve. A csatlakozókra vezetett feszültség hatására a kristály alakja megváltozik, ha pedig külső erőhatás változtatja meg a lapka alakját, a csatlakozókon feszültség jelentkezik. A kristálylemez a méretétől, alakjától függően különféle frekvenciájú váltakozó feszültségű gerjesztés hatására rezonanciajelenséget mutat, az áramkörben RLC hálózatként jelenik meg. Ez az RLC modell (**5. ábra**) soros és párhuzamos rezgőkörként egyaránt működhet, így soros és párhuzamos rezonancia is kialakulhat. (A részletesebb helyettesítő áramkörökben ismétlődik ez az áramköri elrendezés, mivel az alapharmonikuson kívül több páratlan szorzószámú [3., 5. stb.] harmonikuson is rezgésképes a kvarckristály.) Sajátos módon a harmonikus rezgésekkor a kvarc nem pontosan az alapharmonikus többszörösén rezeg. Mindenesetre (a rezgés stabilitásának kárára) kismértékben a kvarcoszcillátort is lehet hangolni, amit többnyire egy kis kapacitású trimmerkondenzátorral valósítanak meg.

A kvarcoszcillátor alapesete egy olyan áramkör, melyben egy megfelelő erősítésű és fázistolású elektronikai fokozatot rezgőkvarcon keresztül csatolnak vissza, a kimenetéről a bemenetére. A helyesen megválasztott erősítőelem és kvarckristály lehetővé tette a csillapítatlan, stabil rezgések előállítását. Az oszcillátor-fokozatot általában egy puf-



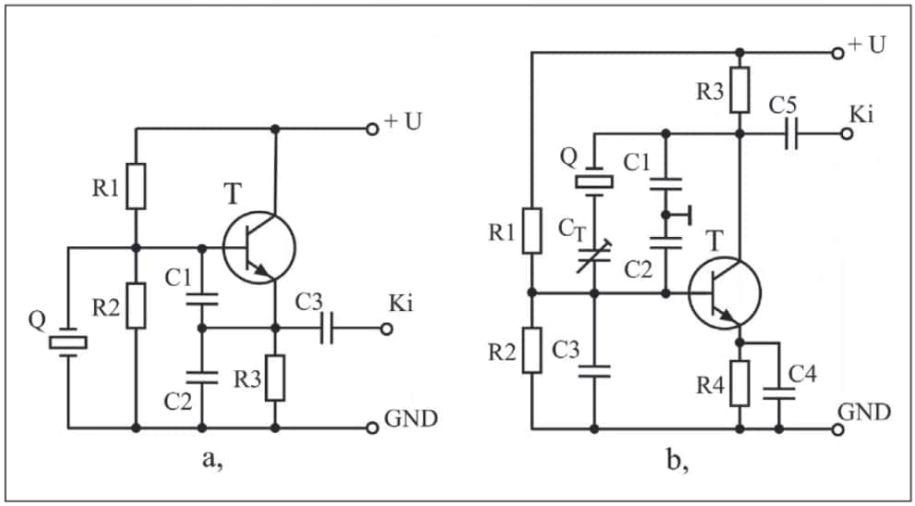
5. ábra

fer egység követi, ami csökkenti az oszcillátor terhelését, valamint a következő áramkörök visszahatását az oszcillátorra. Maguk a kvarcoszcillátorok szinuszos rezgéseket állítanak elő, ezekből a digitális alkalmazások számára vágóáramkörökkel, ma már inkább komparátorokkal, Schmitt-triggerekkel alakítanak ki négyszöghullám vagy impulzus-sorozat jellegű jeleket. A kvarcoszcillátorok elméletével, az egyes részletek számításával nem foglalkozunk most, bennünket a felépítés, tervezés azon részletei érdekelnek, melyek a monolitikus kivitel szempontjából döntőek.

A tokozott kvarckristály egyik különleges műszaki adata az ütésállóság, rezgésállóság. Más tokozott áramköri elemek, pl. az integrált áramkörök esetében ilyen adatot nem szokás megadni. A kvarckristályok adatlapján azonban legtöbbször találunk a külső mechanikai hatásokra vonatkozó határadatokat, hiszen a viszonylag nagy tömegű, rugalmas fémszálakra függesztett kristály érzékeny a rezgésekre, ütésekre. Alacsonyabb frekvenciákhoz az elviselhető rezgés amplitúdóját és frekvenciatartományát adják meg,, pl. így: 10 Hz … 55 Hz, 0,75 mm. Magasabb frekvenciájú külső rezgés esetére a külső rezgés frekvenciáját és a hatására kialakuló megengedett gyorsulási értéket, pl.: 55 Hz … 2 kHz, 10 g. Sok esetben az is szerepel az adatlapon, hogy egy vagy több térirány mentén lehet egyidejűleg rezegtetni a kvarcot, károsodás nélkül. Ezeket az értékeket a tesztelő laboratóriumokban tudják hasznosítani.

Sok kvarckristály gyári adatlapján az előzőek mellett a felhasználó számára egyszerűbben értelmezhető, gyakorlatiasabb korlátozást is lehet olvasni. Ilyen pl. az, hogy keményfából készült padlóra háromszor lehet legfeljebb 1 m magasságból leejteni. Más esetben hidegpadlóra leejtés szerepel az adatlapon, természetesen kisebb (pl. 75 cm) magasságból, esetleg nem is háromszori, csak egyszeri lehetőségként.

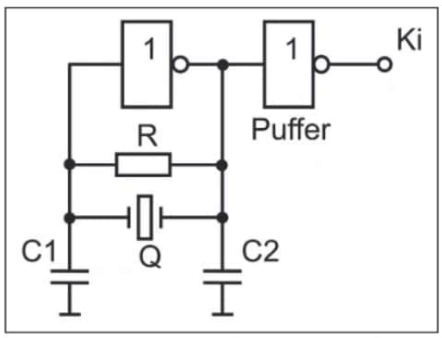
Megjegyezzük, hogy a kvarckristályok az üzletekben többnyire a legkevésbé dokumentált minőségű al-



6. ábra

katrészek. A tokozáson lévő feliraton kívül, ami többnyire csak egy szám, szinte semmilyen információt nem lehet róluk kapni, nincs az üzletekben katalógus, adatlap. A mai általános alkalmazási területnek, a mikrovezérlők oszcillátorában történő felhasználásnak megfelelően általában a párhuzamos rezonanciafrekvencia van feltüntetve a kvarcokon, de előfordul olyan is, amelyiken a soros.

A rezgőkvarcok alkalmazásának történetéhez visszatérve, az I. világháborúban elsősorban a szonárokhoz és a rádióadókhoz alkalmaztak kvarcoszcillátorokat. 1926-ban már az USA műsorszóró rádióadói mind kvarcoszcillátorokkal működtek, a stabilabb működési frekvencia megvalósítása érdekében. A II. világháború idején már tömegesen alkalmaztak kvarcoszcillátorokat katonai híradós eszközökben, radarokban, és egyre népszerűbbek lettek a kvarcoszcillátorra épülő időmérő szerkezetek is. A kristályokat Brazíliából szerezték be, de az ottani készletek kezdtek teljesen kimerülni. Ekkor kezdődött meg a mesterséges előállítás lehetőségének kutatása. Az 1950-es évekre a *Bell Laboratories* kifejlesztette a mesterséges kvarckristályokat, hidrotermális eljárással. Az 1970-es években már gyakorlatilag csak mesterséges kvarckristályok voltak forgalomban.



7. ábra

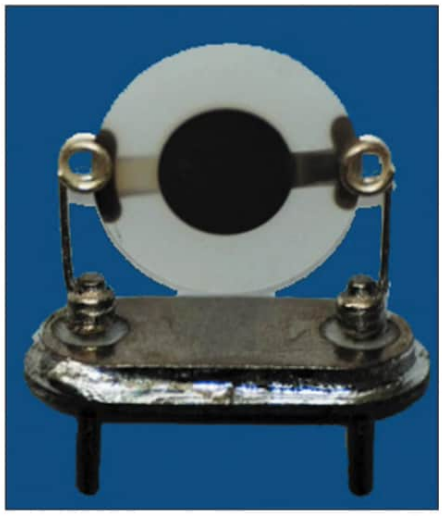
A **6. ábrán** két népszerű tranzisztoros kvarcoszcillátort láthatunk, ezeken kívül számtalan kapcsolási elrendezés létezik. A **6.a** részleten egy Collpits rezgéskeltő kapcsolást, a **6.b** kapcsoláson pedig egy Pierce-oszcillátort mutatunk be. A Pierce-oszcillátor kapcsolásában a frekvencia kismértékű változtatását lehetővé tevő trimmerkondenzátort is szerepeltettük. Digitális áramköri környezetben egyetlen invertáló jellegű kapu (inverter, NAND vagy hasonló kapu) használatával már felépíthető egy Pierce jellegű kvarcoszcillátor (**7. ábra**). A második inverter már pufferként szolgál az egyszerű kapcsolásban, megvalósítva a jelformálást és az elválasztást az oszcillátor-fokozat és a felhasználó áramköri részletek között. A Pierce-oszcillátorokban a rezgőkvarcok párhuzamos rezonanciafrekvencián működnek.

A kvarcoszcillátor kiegészítő megoldások alkalmazása nélkül is 10^{-5} … 10^{-6} értékű frekvenciastabilitást nyújt (ami százalékban kifejezve 0,001% … 0,0001% közötti érték, másképpen 10 ppm … 1 ppm). Ezt a *rövid idejű* jelentős pontosságot a kvarckristály stabil rezonanciafrekvenciájának köszönheti az áramkör. A frekvencia változásait elsősorban a környezeti hőmérséklet ingadozásai okozzák. Különleges technikákkal, pl. állandó hőmérsékletre felfűtött környezetben működtetett kristállyal akár 10^{-12} frekvenciapontosság is elérhető. A kvarckristály jósági tényezője (Q) igen magas érték, jellegzetesen 25 000 körüli, ezért egyszerű áramköri felépítés mellett is stabil működésű, kis fogyasztású oszcillátor készíthető a felhasználásával. Talán a legjellemzőbb, közismert példák erre a márkás kvarckarórák.

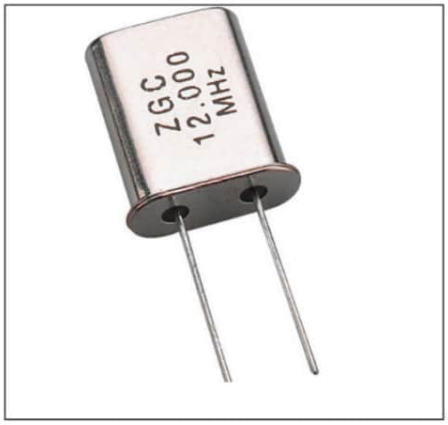
Az integrált kivitelű rezgéskeltőket akkor nevezik oszcillátornak (Oscillator), ha egyetlen kimenettel rendelkeznek. Ha az áramkör több különféle frekvenciájú kimenőjelez is előállít, amik egyidejűleg különböző kimeneteken jelennek meg, a katalógusok általában óragenerátornak (Clock Generator) nevezik az eszközt.

Mint már szóba került, a rezgő kvarclapka ma már minden esetben mesterséges úton előállított kvarckristályból készül. Az optikai (Z) tengellyel meghatározott szöget bezáró irányban kell kimetszeni a vékony lapokat, a metszési mód (pl. AT, BT, SC metszet stb.) alapvetően meghatározza a kristály tulajdonságait (rezgésmódját, stabilitását, hőfokfüggését). Bár a rezonanciafrekvencia a metszési sík orientációjától is erősen függ, a geometriai méretek mégis meghatározók a kvarckristályok rezonanciafrekvenciája szempontjából. Elmondható mindenesetre, hogy egyre magasabb frekvenciához egyre kisebb, vékonyabb kvarclapkát kell kialakítani. A gyakorlatban 75 MHz feletti kristállyal már alig lehet találkozni. Már azt is tudjuk, hogy a kvarckristály az alap-rezonanciafrekvencia páratlan számú többszörösein is képes rezegni, ezt kihasználva magasabb frekvenciás kvarcoszcillátorokat is lehet építeni (felhang oszcillátorokat), így lehet növelni a működési frekvenciát.

Méretre vágás, csiszolás után két szemközti oldalra fémréteget visznek fel, pl. vékony aranyréteget, ezüst vagy alumínium csatlakozó felületet, majd két vezető rúd közé szerelik be, rugalmas felfüggesztéssel (**8. ábra**).



8. ábra



9. ábra

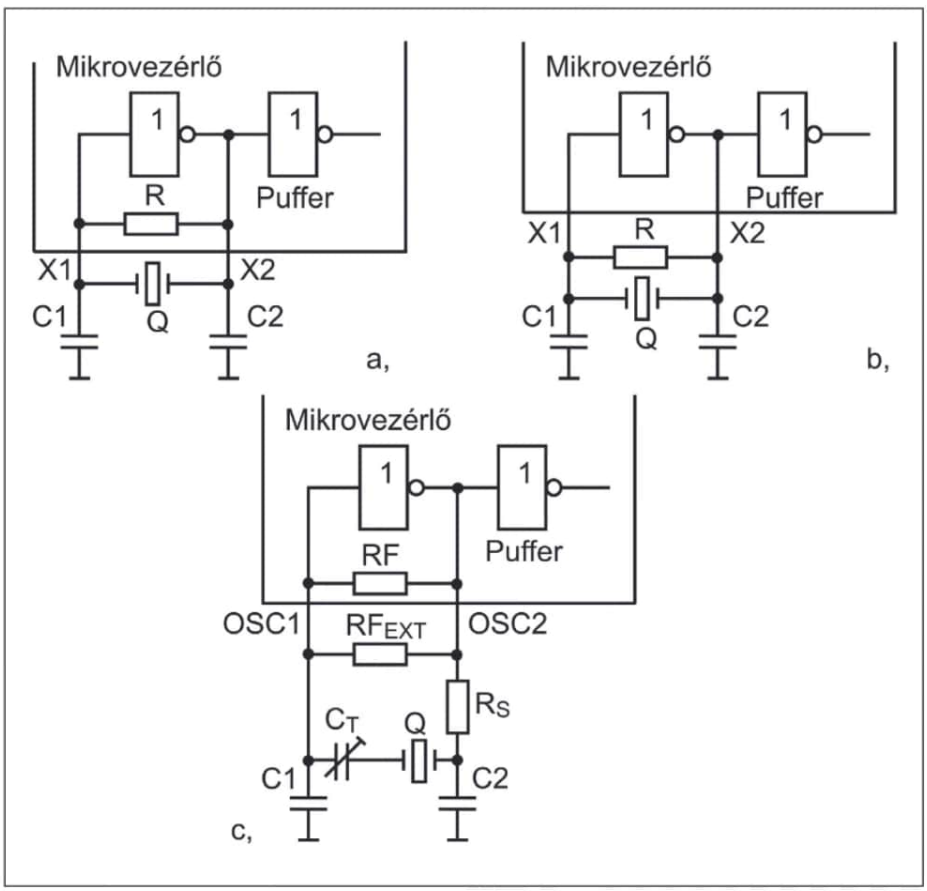
A tartórudak egyben a kristály kivezetései is. A kvarckristályokat általában fémtokkal zárják le (**9. ábra**; HC-49 „drótlábú" tokozás). Ma már SMD kivitelben is gyártják a kvarckristályokat, a kisméretű elektronika igényeinek megfelelően. Ugyanakkor a cserélhetőség érdekében a csapos kivezetésű kvarcokat sok esetben foglalatba helyezve alkalmazták (**10. ábra**). Például a korai rádióadókban, később az adóvevőkben sokszor így, kvarccserével oldották meg a csatornaváltást vagy éppen sávváltást. Az amatőrök által ma általánosan beépített kvarcok „drótlábú", beforraszthatható példányok, a nagyipari gyártás méretcsökkentési igényeinek kiszolgálására pedig SMD kivitelű rezgőkvarcokból is széles választék áll rendelkezésre.

A mikrovezérlők többsége a csipen belül tartalmazza az órajel-áramkört. Az előzőekben röviden ismertettük a rezgőkvarc előállítását, ezt a folyamatot egy IC-n belül nem lehet a csipgyártó-soron megvalósítani. Ezért a kvarcot külső alkatrészként kell a mikrovezérlőhöz hozzákapcsolni. Az alapkapcsolás a 7. ábrán látható megoldású. A működéshez szükséges két konenzátort külső elemként kell csatlakoztatni, az ellenállás is lehet a mikrovezérlőn belül (**11.a ábra**), ha a felhasználható rezgőkvarcok azonos ellenállással működőképesek. Ha széles tartományból lehet a kvarc frekvenciáját választani, ami különféle ellenállásértékeket is jelent, akkor célszerűbb az ellenállást is külső alkatrészként használni (**11.b ábra**).

10. ábra

Esetenként további alkatrészeket is láthatunk a mikrovezérlők kvarcoszcillátorainál, a szerző mikrovezérlők isránti elkötelezettsége miatt ezeket nem hallgathatja el. A **11.c** ábrarészleten minden előforduló elemet szerepeltetünk, vannak közöttük egészen újak is! Előre megjegyezzük azonban, hogy sok kivitelezett kvarcoszcillátor esetén az a, vagy a b, részleten szereplő alkatrészek használata is elegendő. Minderről néhány mondatos összefoglalót adunk a következőkben, mindenesetre a teljesen részletes méretezési leírásra most sem vállalkozunk.

A belső kvarcoszcillátor csatlakozópontjait *X1* és *X2*, vagy *OSC1* és *OSC2* jelzéssel szokták ellátni. Az oszcillátort megvalósító erősítő működésű inverter bemenetéhez kapcsolódnak az *1* sorszámú kapcsok (*X1* vagy *OSC1*), a *2* sorszámúak (*X2* vagy *OSC2*) a kimenetéhez. Az oszcillátor megvalósításának első lépése a rezgőkvarc megválasztása. Mint említettük, az alkatrész-üzletekben legtöbbször csak a kvarcokat találjuk meg, még a gyártó sem mindig ismert. A kristály pontosságára mindenesetre utal a rajta lévő szám, mivel annyi 0-t szoktak megadni rajtuk, ahányat a pontosság megenged. Ha pl. egy kvarcon 4.000000 M jelölés szerepel, ez azt jelenti, hogy 4 MHz-es, 10^{-6} pontosságú a kristály. Ipari körülmények között természetesen a kvarcot a gyártók katalógusából választják ki, a frekvencia és a pontosság mellett egyéb adatokat is figyelembe vesznek, pl. a rezgés jellegét, a hőfokfüggést. A kvarc kiválasztását a mikrovezérlő gyártója is segíteni szokta. Legtöbb esetben a belső oszcillátornak több oszcillátorüzemmódja is van, pl. a Microchip PIC mikrovezérlők kvarcoszcillátoros üzemmódjai LP, XT és HS lehetnek. Az üzemmódot a mai mikrovezérlőknél ún. konfigurációs kódokkal állíthatjuk be, ennek megfelelő lesz az oszcillátorban levő inverter, mint erősítő viselkedése (erősítése, frekvenciamenete). Az üzemmódokhoz a mikrovezérlő leírásában táblázatban ajánl működési frekvenciákat és C1, C2 értékeket a gyártó,



11. ábra

sokszor még a rezgőkvarc gyártóját is javasolva.

Az R_S ellenállás akkor szükséges, ha nem a mikrovezérlő gyártója által javasolt módon kívánjuk használni a kvarcot, pl. nagy erősítésű üzemmódot (XT vagy HS) állítunk be, alacsony frekvenciás kvarchoz. Ilyenkor a kvarcon oszcilloszkóppal érzékelhető módon jeltorzulások lépnek fel, esetleg harmonikuson fog rezegni, gyorsan öregszik, rossz esetben felmelegszik és tönkremegy. Ezeket a kellemetlenségeket lehet a külső soros ellenállással (R_S) megakadályozni. Ezt 10 kohm-nál kisebb értékre célszerű választani. Ha kicsinek bizonyulna, akkor C1 és C2 értékét kell kissé megemelni (a megadott tartományokon belül).

A C1 és C2 fázistoló kondenzátorok értékére is adnak a mikrovezérlőgyártók ajánlást, többnyire egy tartományt. A túlságosan kis értékű kondenzátorok instabil működést, torz jelakot okozhatnak, a túl nagyok nehezíthetik az oszcillátor indulását, esetleg a működő oszcillátor leállásához is vezethetnek. A C1 kondenzátor a „fázisszabályozó", a C2 az „erősítésszabályozó". Célszerű, ha e két kapacitásérték megegyezik. A külső kiegészítő kapacitás, a C_K (a nyákmintázatból és a hozzávezetésekből adódó érték) és a C1, C2 együttesen határozzák meg a kvarc terhelő kapacitását (C_{Terh}):

$$C_{Terh} = (C1 \cdot C2) / (C1 + C2) + C_K$$

A kvarckristály gyári adatlapjában szerepel egy többnyire C_L jelű kapacitásérték, ezzel terhelve a kristályt az a névleges frekvenciáján fog rezegni. A tervezéskor ezért célszerű úgy megválasztani az értékeket, hogy lehetőleg teljesüljön a $C_L = C_{Terh}$ egyenlőség.

A C_T trimmerkondenzátor szerepét más ismerjük, a frekvencia kismértékű elhangolását teszi lehetővé. Az RF_{EXT} akkor szükséges, ha nincs a mikrovezérlőben RF visszacsatoló ellenállás, vagy túl nagy az értéke. Sok esetben, ha bekapcsoláskor nem indul meg a rezgés, pedig van belső RF ellenállás, akkor egy 1…5 Mohm közötti értékű RF_{EXT} csatlakoztatása segít a helyzeten.

A mikroprocesszorok órajelét önálló oszcillátorokkal szokás megvalósítani, a processzor mellett az alaplapon elhelyezett áramkörrel, ami természetesen lehet kvarcoszcillátor is.

A kvarckristályokat ezért nemcsak önálló alkatrészként forgalmazzák, hanem komplett oszcillátorként is. A többnyire fémtokozású kristályoszcillátorok általában valamilyen külön lehetőséget is tartalmaznak. Beszerezhetőek feszültséggel vezérelhető (VCXO), hőmérsékletkompenzált (TCXO), beépített fűtéssel stabilizált (termosztátos: OCXO) oszcillátorok. A különféle alkalmazási igényekhez igazodóan az oszcillátorok kimeneti fokozata lehet TTL, CMOS, ECL vagy egyéb kialakítású is. (Megjegyezzük, hogy a MEMS oszcillátorok világában a CMOS megjelölés mást fog jelenteni, ahogyan később ezt tárgyaljuk is.)

A kvarcoszcillátorok hibrid technikával készülnek, általában kerámia alaplapra (különösen a magasabb frekvenciák esetében). Külön tokozás nélkül szerelik be (a szokásos rugalmas felfüggesztéssel, kis csigarugók menetei közé fogva) a kvarclapkát, mellé kerül az elektronika, s a teljes áramkört tokozzák be. Az oszcillátorok általában fémtokkal készülnek, amit légmentesen lezárnak, miután védőgázzal feltöltik), a kivezetéseik a 14 lábú hagyományos DIL toknak felelnek meg, de többnyire csak a sarkokon lévő lábaik vannak kialakítva (**12. ábra**). A méretcsökkentés itt is megjelent már, kisebb fémtokban és SMD kivitelben is készülnek kvarcoszcillátorok.

A leírtak alapján egyértelmű, hogy a hagyományos kvarckristállyal nem lehet monolitikus oszcillátoráramkört készíteni, a mikrovezérlők csipjén sem lehet a rezgőkvarcot létrehozni. Ez nem csak a hagyományos csipgyártás eszköztárára igaz! A mikroelektromechanikai rendszerek (MEMS) kifinomult lehetőségei sem teszik megoldhatóvá a szükséges metszési módnak megfelelő kristálylapkák előállítását egy szilíciumtömb felszínén.

Beszerezhetők olyan kvarcoszcillátorok, melyeket egyféle rezgőkvarccal készítenek, a kimeneti frekvenciát viszont egy beépített, PLL-re épülő áramkörrel lehet meghatározni, programozható módon. Ilyen áramkörök pl. a *Seiko Epson* SG-8003 sorozatú oszcillátorok. A teljes áramkör stabilitása megfelel a kvarcénak, bár a PLL miatt a kimenőjelben fáziszaj jelentkezik.

12. ábra

Gyártanak rendkívül kis méretű kvarcoszcillátorokat, de azokban is egy külön alkatrészként kivitelezett kvarckristály és egy elektronikai egység van elhelyezve, közös tokban. Így épül fel pl. a *FOXElectronics* FXO-LC53 sorozata, 3,2×5×1 mm méretű, kivezetés nélküli SMD tokban. A 20 ppm stabilitású oszcillátorokat 0,75 MHz … 1,35 GHz tartományban lehet megrendelni, vezérlő bemenőjellel, 3,3 V tápfeszültséggel. Az *STMicroelectronic* hasonló felépítésű áramköre az M41T62, mely 1,5×3,2 mm alapterületű, kivezetés nélküli kerámia SMD tokozásban tartalmazza a kvarckristályt és az RTC (valós idejű óra) jellegű elektronikát. Ez az áramkör, mivel időmérés céljára készült, 32 kHz-en működik, a tápfeszültsége 1,3 V … 4,4 V közötti lehet. Ezekkel vagy hasonló gyártmányokkal mindenki találkozhat például a mobiltelefonjában.

Ezzel a megoldással sem lehet azonban a szükséges nagyfrekvenciás oszcillátorokat előállítani. Az új, MEMS technológiára épülő nagypontosságú oszcillátorok fejlesztését az is gyorsította, hogy a kvarcoszcillátorok több tekintetben elérték alkalmazási határaikat. A működési frekvencia 50 MHz felett már csak frekvenciasokszorozással, felhang-működéssel vagy PLL technikával oldható meg, a fogyasztás nem szorítható néhányszor 10 mA alá, a méretek nem csökkenthetőek tovább.

Ugyanakkor felvetődött, hogy a kvarckristállyal elérhető frekvenciapontosság sok alkalmazásban indokolatlanul nagy, kissé pontatlanabb, de olcsóbb megoldást kerestek. Rövidesen meg is jelent az ilyen igényeket kielégítő új rezonáns elem, a kerámiarezonátor (Ceramic Resonator, CR). Már hosszú idő óta keresték az újabb és újabb felhasználható anyagokat, így leltek rá előbb a Rochelle-sóra, majd a kvarckristályra. A rezonáns elem már több évtizedes anyaga pedig a piezoelektromos kerámia lett, elsősorban az ólom-cirkónium-titanát, a PZT. Megjegyezzük, hogy az oszcillátorok mellett más áramkörtípusokban is fontos szerepet játszanak a rezonátorok, így pl. nagy jóságú, nagy oldalmeredekségű, esetenként nagy sávszélességű szűrők is készülnek mind kvarcból, mind ke-

13. ábra

rámiából, ill. ilyen elemek felhasználásával.

A kerámiarezonátor tehát speciális összetételű kerámiatömb, két fémezett kivezetéssel. Váltakozó feszültség hatására ugyanúgy rezgésbe jön, mint a kvarc, s ennek is jellegzetes rezonanciafrekvenciái vannak. A rezonanciafrekvencia a kerámiatömb alakjától, geometriai méreteitől függ. A kereskedelmi forgalomba kerülő egyszerűbb kerámiarezonátort csak egy zománcréteg fedi, a két csatlakozó felületéhez forrasztott kivezetésekkel csatlakoztatható az elektronikához (**13. ábra**). Mivel áramköri szempontból a kvarckristályhoz hasonlóan viselkedik, egyszerűen ki lehet cserélni a kapcsolásokban a rezgőkvarcot kerámiarezonátorra.

A mikroelektronikai alkalmazásokban, pl. a mikrovezérlők belső oszcillátorának frekvencia-beállítására a 11. ábra szerinti kapcsolásban lehet ezt is felhasználni, a kvarc helyére bekötve a kerámia rezonátort. Akár rezgőkvarccal, akár kerámiarezonátorral működik a 11. ábrán látható oszcillátor, a frekvenciameghatározó elem párhuzamos rezonanciáján dolgozik, ezért szükséges a két kivezetése és a földpont között a két kondenzátor. A kerámiarezonátor gyártásakor megoldható, hogy a két kondenzátort is magán

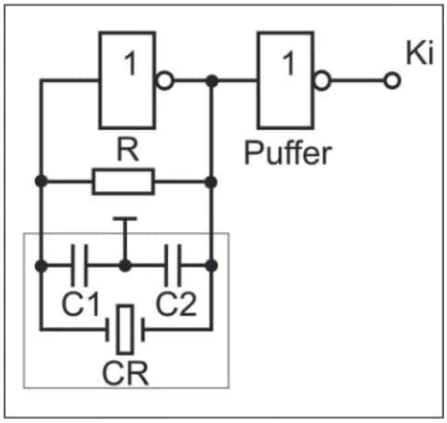
14. ábra

a rezonátoron alakítsák ki, így készül a 3 kivezetéses változat (**14. ábra**). A **15. ábrán** egy mikrovezérlő belső oszcillátorát hangoltuk háromlábú CR elemmel. A kapcsoláson látható, hogy a három kivezetéses kerámiarezonátor középső lábát kell a *GND* pontra csatlakoztatni, ez a beépített kondenzátorok közösített pontja. A *GND*-re kapcsolással a kondenzátorokat aktivizáltuk, további kiegészítő kondenzátorra már nincs szükség. A kereskedelemben két- és háromkivezetéses rezonátorokat egyaránt be lehet szerezni, nagyszámú gyártó termékeiként.

A kerámiarezonátor frekvenciapontossága többnyire 0,5% … 0,3% körüli érték, ami a kvarckristályénál kb. három nagyságrenddel rosszabb. A rezonátor jósága (Q) is kisebb, mint a kvarckristályé. Ugyanakkor, mint említettük, a rezonátorok jóval olcsóbbak, és vannak további kedvező tulajdonságaik is. A különleges anyagú és kialakítású piezoelektromos kerámia tégla oldallapjain alakítják ki a fémes csatlakozásokat, itt nincsenek rugalmas felfüggesztések. Következésképpen a kerámiarezonátor nem érzékeny rázkódásra, ütésre, egyéb mechanikai hatásra. A kerámiarezonátorral épített oszcillátorok feléledése rövidebb időt igényel, mint a kvarckristályos megoldásúaké, így a tápfeszültség bekapcsolása után hamarabb állítják elő a végleges alakú és frekvenciájú impulzusokat. Sokszor jelent előnyt az is, hogy a kerámiarezonátorok rendkívül kis méretűek, általában egy adott frekvenciához a kerámiaelemek fele akkorák, mint a kvarclapocskák. A gyártási folyamat is egyszerűbb, a kiindulási anyagok könnyen elérhetők.

Ma már nemcsak átmenő furatba szerelhető változataikat gyártják, hanem SMD kivitelben is készülnek. A leggyakoribb frekvenciaértékek néhány száz kHz-től 60 MHz-ig terjednek. A magasabb frekvenciás elemek (10 MHz felett) általában nem az alapfrekvenciájukon működnek, hanem annak többszörösén, így gigahertzes frekvenciaértékek is kialakíthatók.

Jelenlegi vizsgálódásunk elsősorban arra irányul, hogy a különféle rezonáns elemekkel épített oszcillátorok a csipek belső egységeként kivitelezhetők-e vagy sem. Vizsgáljuk meg, hogy a kerámiarezonátor alkalmas-e arra, hogy egy integrált áramkör belső elemeként, annak gyártása során ki lehessen alakítani! A választ a kerámiarezonátor gyártástechnológiája adja meg. A kiválasztott nyersanyagokat megőrlik, ho-



15. ábra

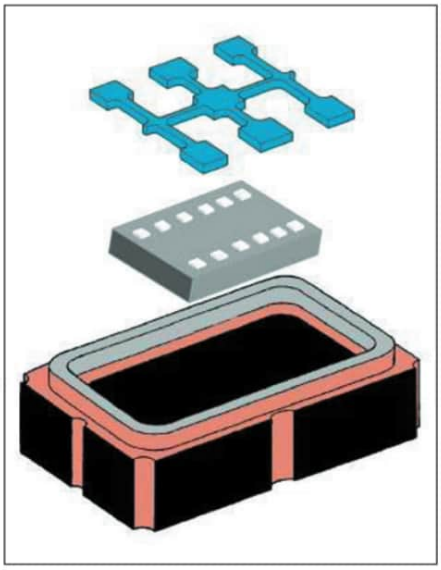
mogenizálják, majd formázzák. Ezután szárítás következik, majd 1300…1400 °C hőmérsékleten kiégetik a kerámiát, szükség esetén csiszolják, trimmerelik a lapkákat, majd a felületükön ki lehet képezni a fegyverzeteket, végül tokozzák és tesztelik a rezonátorokat.

A kerámiarezonátor gyártásának alapvető lépései tehát a piezoelektromos kerámia porszerű alapanyagának előállítása, a megfelelő alakra sajtolás majd a kiégetés. Ezek a lépések sajnos, az IC gyártástechnológiája során nem valósíthatók meg, a csip-gyártósor szokásos technológiai lépései közé nem iktathatók be, ezért le kell mondanunk arról, hogy akár a MEMS lehetőségeket használva monolitikusan kerámiarezonátoros oszcillátorokat lehessen készíteni!

Az első MEMS megoldások

Az eddigiekből azt a következtetést lehet levonni, hogy a MEMS technológiával készülő, monolitikus kivitelű, nagy pontosságú oszcillátorokat új alapokon lehet csak kialakítani. Ezekről a lehetőségekről lesz szó a továbbiakban. 2010-ben az új típusú MEMS oszcillátorok forgalma 21,4 millió dollár volt, ami 2014-re 312 millió dollárra nőtt, s azóta is folyamatosan emelkedik. Általában a kerámiarezonátorok forgalma az összes kvarc- és kerámia rezonáns elem forgalmának közel fele, bár az utóbbi években befolyásolja ezt az arányt a MEMS megoldások egyre nagyobb népszerűsége.

Mielőtt rátérnénk a kvarc- és a kerámiarezonátor nélküli megoldásokra, egy érdekességről még be kell számolnunk. Természetesen a kvarckristályok, kvarcoszcillátorok gyártói is figyelemmel kísérik az új szerkezetű áramkörök fejlesztését, így az egyik legnagyobb kristálygyártó, az



16. ábra

Epson Toyocom Corp. is. Ez a cég a Seiko Epson részlege, rezonátorokat és oszcillátorokat fejleszt. A Toyocom igyekszik az új áramkörök világában is versenyképes maradni, ezért dolgozik az új MEMS megoldásokkal a kvarcoszcillátorok körében is. A hibrid technológia (**16. ábra**) lehetővé teszi a nagy stabilitású és pontosságú kvarckristály és a MEMS technológia előnyeinek kihasználását. Ezek a kristályok megőrizték a pontosságukat, ugyanakkor kisebb méretűek (pl. különféle elektronikus kártyákba is beépíthetők), sőt, hangolhatók is a gyártás közben. A kilohertzes tartománytól kezdve egészen a gigahertzeses értékekig széles választékban gyárthatók, a Toyocom által választott fantázianevük QMEMS (Quartz-MEMS) áramkör.

A termékcsalád kvarcszeleten (wafer) készül, lényegében az IC-gyártáshoz hasonló fotolitográfiás lépések alkalmazásával. A kvarcszeletet a kristály jellegének megfelelő kristálytani szögben egy kvarcrúdból metszik ki, majd a hagyományos gyártási lépések helyett a MEMS technológiát alkalmazva folytatják a gyártást. Így készül pl. fémbevonat, árkolás, speciális réteg a szelet felszínén. A QMEMS kvarcrezonátor utólagos megmunkálást (csiszolást) nem igényel. A Toyocom oszcillátorokat is készít ezekkel a kvarcokkal, ezek között vannak rendkívül kis méretűek is. A gyártó tájékoztatása szerint az oszcillátorok alapterülete 70%-kal, a térfogatuk 75%-kal csökkent, a hagyományos kialakítású kvarcoszcillátorokhoz képest.

A *Shenzen Yangxing Technology Co., Ltd.*, melynek mozaikszavas, rövid megnevezése YXC, szintén gyárt olyan oszcillátorokat, melyeknél a kvarckristályokat és a MEMS technológiáűt egyesíti. Az YXC ezeket az áramköröket Q-MEMS néven forgalmazza, felépítésük hasonló a Toyocom eszközeihez. Az YXC Q-MEMS oszcillátorokat 1…200 MHz közötti frekvenciákkal gyártják, a terméklistán szerepelnek programozható változatok is. A Q-MEMS oszcillátorok sajátossága, hogy rendkívül rövid a feléledési idejük, nagy a frekvenciapontosságuk, stabil a működésük, és alacsony az áruk.

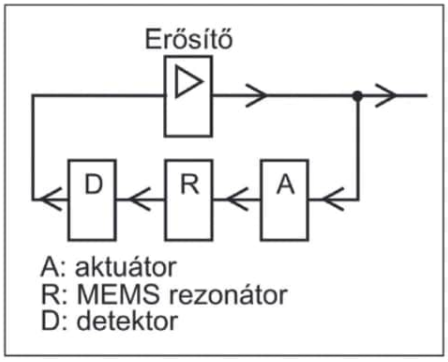
MEMS rezonátorra épülő oszcillátorok

A rezonátorokkal működő oszcillátorokhoz egymás után találták meg a kutatók az egyre pontosabb, hatékonyabb megoldásokat biztosító kristályos anyagokat, a Rochelle-sót, majd a kvarckristályt. Az integrált kivitelű megoldásokat viszont meggátolta, hogy ezeket nem lehet a szlícium alapú csip gyártási folyamatának lépéseivel megvalósítani. Csak közel húsz éve vetődött fel az az ötlet, hogy az oszcillátor működéséhez szükséges mechanikus alaprezgést szilícium elemekkel hozzák létre, a csipen belül! Mintha a szilícium maga is bizonyítani kívánná, hogy nem járt el felette az idő, még nincs itt az ideje az integrált áramkörök világában más alapanyagra váltani, vannak még tartalékok benne! Igaz, ehhez a mikroelektronika, a nanoelektronika világát kellett létrehozni, a MEMS és a NEMS technológiákat. A MEMS megoldásokban és a NEMS áramkörökben (*N*ano-*E*lectro*m*echanical *S*ystems) két alapvető újdonsággal találkozunk. Mindkettő szilícium alapon nyugszik, és a csipen, vagy akár annak belsejében elmozdulni képes, mozgó vagy akár forgó alkatrészeket tud létrehozni. A másik újdonság a rendkívül kis méretek lehetősége, olyan parányi alkotóelemek kialakítása, melyek lineáris méretei a MEMS esetében um, a NEMS esetében nanométer.

A MEMS technológiákat már az 1960-as évek közepe óta fejlesztik, de csak 2006 óta vannak a kereskedelmi forgalomban MEMS rezonátorral működő eszközök. Ezekben a mechanikus rezgést végző alkotóelem egy megfelelő geometriai méretű, egy vagy több pontján befogott, rögzített rúd, korong, tömb, vagy különleges alakú, kiképzésű egyéb test. A kezdeti megoldásokban még fémből készült a rezgő test, amit már MEMS technológiával alakítottak ki, de ezek a rezonátorok alacsony frekvenciákon (1…100 kHz) rezegtek. Elsősorban hangfrekvenciás szűrőket alakítottak ki ilyen módon, mert a fém rezonátorok jósága (Q) nem volt elég magas és a frekvenciastabilitásuk sem volt elegendő oszcillátorok építéséhez, továbbá kellemetlenül nagy volt a hőmérséklet-érzékenységük is. A fém rezgőelem gyorsan öregedett, fáradt, a frekvenciája eltolódott, rossz esetben rövid idő után el is tört. Csak később használták fel a szilíciumot rezonátor kialakítására, akár monolit, akár polikristályos változatban, mindkettő mentes volt az öregedéstől, amellett sikerült magas Q értéket, jó frekvenciastabilitást, csökkent hőfokfüggést és egyre nagyobb rezonanciafrekvenciát elérni. Ezután már a MEMS rezonátorok és oszcillátorok rezgőelemét szilíciumból alakították ki. Mára már néhány kilohertztől akár több száz megahertzes rezonanciafrekvenciával is készítenek MEMS rezonátorokat, melyek frekvenciapontossága a 0,5 ppm értéket is elérheti. A MEMS áramkörök robusztusabb kivitelűek, külső mechanikai hatásokra, ütésekre alig érzékenyek.

Néhány év múlva a MEMS technológia lehetőségeit kihasználva egy egészen más megoldás is megjelent a gyártósorokon, az ezzel készült rezgéskeltők a CMOS MEMS oszcillátorok. Mindkét megoldási lehetőséggel, a MEMS rezonátoros oszcillátorokkal és a CMOS MEMS áramkörökkel is foglalkozunk a továbbiakban, először a MEMS rezonátorok lehetséges kialakításaival, alkalmazásaival.

A MEMS oszcillátorok széles frekvenciatartományban gyárthatók, beleértve az igen magas értékeket is, pontosságuk (akár 1…10 ppm), jitter-értékük (igényes kivitel esetén 1 ps) elérheti a kvarcoszcillátorokét, esetenként azoknál kedvezőbb is lehet. Ugyanakkor kis méretűek, kis fogyasztásúak, olcsóbbak, érzéketlenek a mechanikai hatásokra, ütésre, rázásra, rezgésekre. A kvarcoszcillátoroknál megismert különleges lehetőségek alkalmazására az új megoldás használatakor is van lehetőség, így pl. beépített PLL áramkörrel programozhatóvá tehető az oszcillátor, megfelelő áramköri eszközökkel fokozni lehet a hőmérsékleti stabilitást stb. Forgalmazzák önálló áramköri elemként is a MEMS rezonátorokat, de elsősorban az integrált oszcillátorok (egyféle kimenőfrekvenciával), illetve az óragenerátorok (melyeknek több,



17. ábra

különféle kimeneti frekvenciája van) a népszerűek.

A MEMS rezonátor alkalmazása elvileg lehetővé teszi, hogy egyetlen csipen, egyetlen gyártási folyamatban létrehozzák a rezonátort és az elektronikát, hiszen a MEMS mechanikák és a CMOS elektronikai elemek egymással teljes mértékben kompatibilisek. Egyelőre azonban vannak gyártási nehézségek, emiatt sok esetben hibrid gyártási megoldást választanak a gyártók.

A MEMS rezonátor mechanikai rezgéseket végez. A rezonáns elem többnyire lehet egy egyszerű rúd, aminek a közelében a csillapítatlan rezgésekhez szükséges energiát biztosító működtető részlet, az aktuátor és az elektromos rezgés kicsatolásához szükséges detektor található. Az oszcillátorokban egy erősítő kimenőjele az aktuátor segítségével rezgeti a szlilíciumból készült rezonátortagot (pl. elektrosztatikus erővel, máshol piezoelektromos megoldással). A mechanikai rezgés a detektor segítségével (pl. változó kapacitásként megjelenve) kimenő villamos jelet szolgáltat, ezt visszavezetik az erősítő bemenetére. Az oszcillátor lényegében a megszokott áramköri elrendezés, a hangolt elemen keresztül történő visszacsatolással működik (**17. ábra**). Ez az oszcillátor is harmonikus jelet állít elő, amit jelformálókkal, vágóáramkörökkel lehet négyszögesíteni. Mivel a gerjesztés villamos jellel történik, az oszcillátor működésébe egyszerű módon be lehet avatkozni és pl. hőmérsékletkompenzációt lehet kialakítani.

A kivitelezett MEMS rezonátoros oszcillátorokban a működéshez szükséges alkatelemek sokszor igen egyszerűen valósulnak meg. De ha pl. egy apró rúd a rezonáns elem, akkor is sokféle technikai megoldást lehet alkalmazni a rezonátorok kivitelezésekor. A **18. ábrán** néhány olyan rezonátor felépítésének vázlata látható, ahol a rezonáns elem egy négyzet vagy téglalap keresztmetszetű rúd.

Egy lehetséges megoldás az, ha a rezonátor két végén vagy egyik végén befogott négyzet vagy téglalap keresztmetszetű rúd, vele párhuzamosan egy aktív (rögzített, nem mozgó) vezető felület alkotja az aktuátort, a rezonátor elektrosztatikus vonzással-taszítással gerjesztődik. A rezgő rúd és a mozdulatlan vezető felület közötti kapacitás szolgál kimeneti jelként (**18.a ábra**), így tulajdonképpen a mozdulatlan elem egyszerre aktuátor és detektor. Az oszcillátor elektronikájának feladata a rezonátor bemenőjelének és kimenőjelének elválasztása, elkülönítése.

Ha a rezonátor mozgó tömegének két oldalán helyezik el az álló, rögzített vezető felületeket, az egyik szolgálhat pl. elektrosztatikus aktuátorként, a másik lehet a kapacitív detektor (**18.b ábra**). Ebben az esetben az elektronika jóval egyszerűbb lehet, viszont a rezonátor hely- és anyagigénye nagyobb.

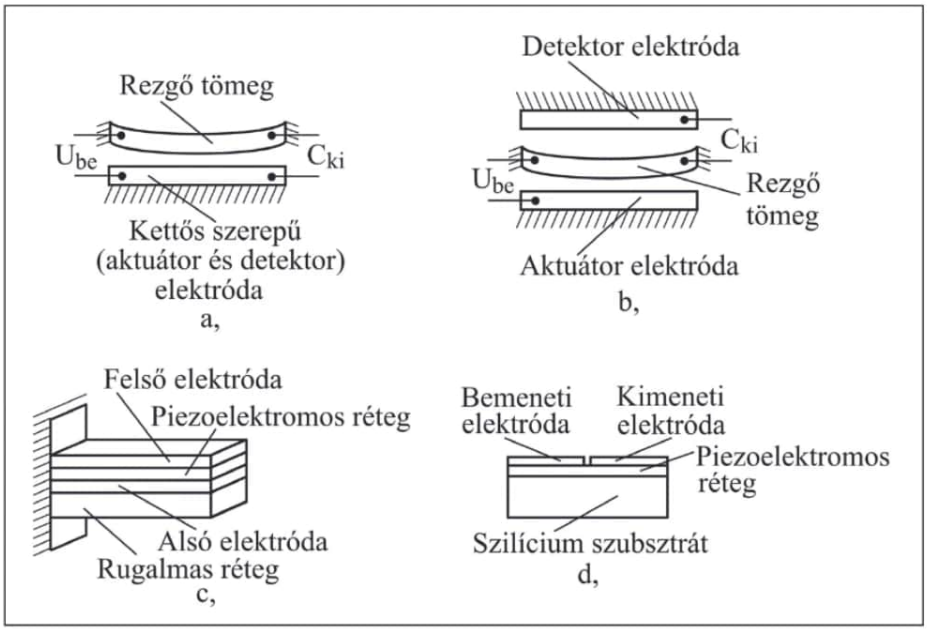
Ezek a rezonátorok üregeket tartalmaznak, ezekben mozog, rezeg a rezonátor aktív eleme. A gyártási folyamat során általában a félvezető tömb belsejében alakítják ki a bemutatott rezonátorokat, az üregekben légüres tér vagy inert gáz van, s az üregek teljesen szilíciumba vannak zárva. A légüres tér, a védőgáz és a szilícium tömb által nyújtott védelem garantálja a hosszú ideig tartó stabil, változatlan frekvenciával történő működést. Viszont az üregek elkészítése a félvezetőlapka belsejében, valamint a megfelelő lezárásuk, tokozásuk különleges gyártási lépéseket kíván meg. Ezeknél a rezonátoroknál a rezgő tömeget többnyire poliszilíciumból alakítják ki, a rezonanciafrekvencia 200 MHz alatti. A rezgő elem és a rögzített elektródák távolsága általában 100 nm-nél kisebb. Igen nagy igénybevétel esetén a rezonátort szilíciumkarbid (SiC) alkotja.

Piezorezisztív detektálással is lehet találkozni, amit esetenként kombinálnak az elektrosztatikus gerjesztéssel, ami a rezgő rúd közelében levő vezető felületekre adott jellel történik.

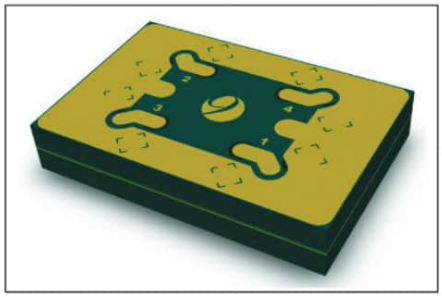
A piezorezisztív rezonátor maga aktuátorként is felhasználható. Ennek az elgondolásnak egy lehetséges megvalósításánál a teljes szerkezet egyik végén rögzített, a másik vége szabad (**18.c ábra**). A téglalap keresztmetszetű piezoelektromos tulajdonságú rezgő rúdra, az alsó és a felső felületére közvetlenül rákerülnek az elektródák, majd az egyik oldalon az elektródára egy nagyobb tömegű elasztikus réteget képeznek ki. Ez a szerkezet tulajdonképpen a hagyományos kvarckristályhoz hasonló, elektronikusan ugyanúgy lehet kezelni.

A **18.d ábrán** hasonló elven működő, de a Si lapka felületén kialakított rezonátor látható. Ennek a megoldásnak jelentős előnye, hogy a mikroelektronika szokásos, egy oldalról kivitelezett gyártási eljárásával el lehet készíteni.

A MEMS megoldásokban a piezorezisztív elemet általában alumíniumnitridből (AlN) alakítják ki, a szokásos rezonanciafrekvencia 1 MHz…3 GHz közötti. A működési hőmérsék-



18. ábra



19. ábra

let-tartomány kiterjesztése és a kisebb hőfokfüggés érdekében a szilícium alapú csipgyártás korszerű megoldásait is alkalmazni lehet, így pl. a rezonátor szerkezet létrehozásához gyakran szilícium helyett helyileg kialakított szilícium-germánium (SiGe) rétegeket, filmet használnak fel.

A MEMS rezonátorokban a rezgő tömeg a bemutatott egyrudas megoldáson kívül lehet sokrudas (sokujjú) is. Akár több 10 rezgő rúd is kialakítható, a rudak közé fésűfogszerűen nyúlnak be ilyen esetben a rögzített, álló elektródák.

A MEMS rezonátor megjelölés valójában rendkívül sok különféle szerkezetet takarhat. Az egyszerű rúd helyett a rezgő elem lehet kiterjedt téglalap, a tengelyénél megfogva, vagy négyzet alakú, a sarkain befogva, esetleg bonyolultabb, már-már hókristályra emlékeztető forma is. A rezgési módok is változatosak, ezek a geometriai méreteken kívül a befogás módjától és a gerjesztéstől is függenek. Hasonlóképpen változatosak a MEMS oszcillátor elektronikai részletei is, bár abban megegyeznek, hogy ezek minden esetben CMOS technológiával készülnek. Az oszcillátorok kimenete azonban nem mindig normál ellenütemű CMOS fokozat, lehet nyitott drain-es jellegű, vagy akár eltérő áramköri megoldású (pl. ECL, LVTTL) is.

A MEMS rezonátorok gyártói folyamatosan keresik a stabilabb frekvenciát, kisebb hőfokfüggést biztosító megoldásokat. Változatosak a felhasznált gerjesztő- és detektáló megoldások is, és a rezonátor aktív elemének geometriai kialakítása is. Leggyakrabban a következő megoldásokkal lehet találkozni:

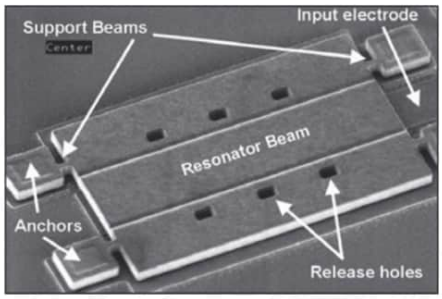
Aktuátor (gerjesztő, működtető hatás):

– piezoelektromos,
– kapacitív,
– elektrosztatikus,
– elektrosztrikció,
– termikus,
– induktív.

Detektor (érzékelő hatás):

– piezoelektromos,
– kapacitív,
– elektrosztatikus,
– piezorezisztív,
– induktív.

Olyan megoldással is találkozhatunk, ahol az aktuátor és a detektor egy különleges FET source és drain elektródája, a rezgő elem a gate.



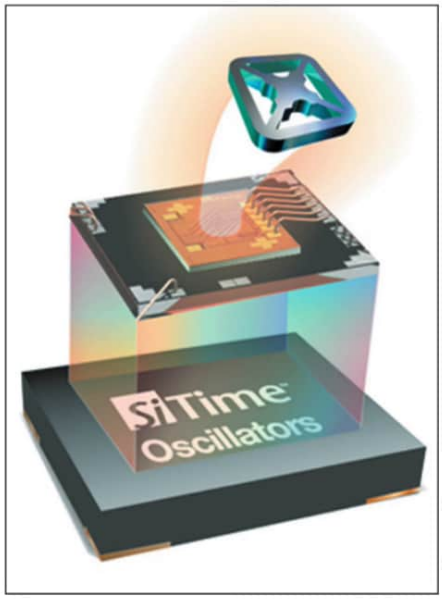
20. ábra

MEMS rezonátoros áramkörök a piacon

A következőkben néhány gyártó termékeit mutatjuk be. Ma már olyan sokan foglalkoznak MEMS rezonátorral működő oszcillátorok fejlesztésével, gyártásával, hogy csak példák bemutatására vállalkozhatunk, a teljesség igénye nélkül.

A *Sand 9* cég a TCXO jellegű oszcillátorok MEMS rezonátoros változataira specializálódott. Termékei (**19. ábra**) a szokásos TCXO kvarcoszcillátorokkal lábkompatíbilisek. Esetenként, a MEMS jellegre utalva a cég TCMO betűszóval utal az áramköreire. A tokon belül alul helyezkedik el a MEMS elem, felette a CMOS elektronika. A frekvenciastabilitást 2,5 ppm értékre sikerült leszorítaniuk, az áramkörök jittere 90 fs (femtoszekundum). A kimeneti frekvencia 10…160 MHz közötti lehet. A cég elsősorban a vezeték nélküli eszközökhöz fejleszti oszcillátorait (pl. a 3G telefonokhoz, GPS-ekhez).

A *Discera* jelentős gyártó a MEMS rezonátorok területén. Több oszcillátorgyártó beszállítója is (pl. a SiTime, Si-Ware, Vectron MEMS oszcillátorok egy részében is Discera rezonátor működik), de saját oszcillátorgyártással is rendelkezik. A cég egyik jellegzetes rezonátor-kialakítását a **20. ábrán** láthatjuk. Ezt a



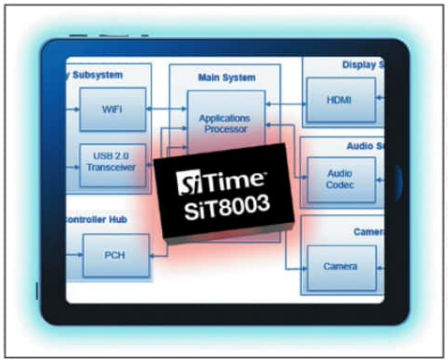
21. ábra

Discera az *Abracon* céggel közösen dolgozta ki. A rezonátorral készülő oszcillátor 1…150 MHz közötti frekvenciatartományra alakítható ki.

Az ASDM típusjelű áramkörök 1,8 … 3,3 V közötti tápfeszültséggel működnek, a tokozásuk 2×2,5×0,8 mm méretű SMD. A sorozatnál a jitter értéke 300 fs, a frekvenciastabilitás mértéke 10 ppm. Az oszcillátorok egyszeres vagy kétszeres kimenetűek, kimeneti fokozataiknál különféle áramköri jelleggel (CMOS, LCPECL, LVDS, HCSL).

A *SiTime Corporation* a MEMS rezgéskeltők piacának jelentős részét tartja a kezében. A **21. ábrán** látható a SiTime MEMS oszcillátorokban alkalmazott egyik sajátos alakú rezonátor, valamint az oszcillátor szerkezeti kialakítása. Egyes termékeikben a MEMS oszcillátor önálló elemként jelenik meg, ami a CMOS elektronika felett helyezkedik el a tokozáson belül. Más esetben egyetlen Si tömb felületén alakítják ki a MEMS részleteket is és a további áramköröket is. A SiTime az elektronika kialakítására általában 200 nm vonalszélesség alatti CMOS technológiát alkalmaz. A SiTime házi használatra alkalmas prototípus-gyártó rendszert is forgalmaz, ez előkészített MEMS-csipeket használ és a cég Time Machine-II szoftverét. Sorozatgyártásra ugyan nem alkalmas, de néhány tesztelhető mintapéldány rendkívül gyorsan készíthető vele.

A SiTime MEMS rezonátorokkal felépített áramköröknél az alaposzcillátor frekvenciaértéke a geometriai méretektől, a rezonátor alakjától, felfüg-



22. ábra

gesztésétől és a rezgési módtól függ, frekvenciapontosságuk 30 ppm körüli. Az alaposzcillátor frekvenciája lehet pl. 48 MHz. Az oszcillátor jelét PLL sokszorozó fogadja, ami 2…3 GHz körüli frekvenciát állít elő, TXCO jellegű áramkörökben itt történik meg a hőmérsékletszenzor jelei alapján a hőmérsékletkompenzáció is. Ez az áramköri részlet digitális megoldású, és elvileg zérus hőmérsékletfüggést eredményez, a katalógusérték általában 0,5 ppm. A PLL frekvenciáját egyes megoldásokban közvetlenül vezetik ki az áramkörből, más esetben osztóáramkörön keresztül, ami esetenként programozható is. Az így kialakított oszcillátorok kimeneti frekvenciája szokásosan 1…260 MHz közötti. Más esetben a SiTime oszcillátorból elmarad a frekvenciasokszorozó, az alaposzcillátor jelét közvetlenül osztóáramkörre vezetik, így akár 200 kHz is lehet a kimeneti frekvencia. Egy-egy oszcillátor-sorozat többnyire azonos MEMS rezonátort használ, az elektronika kialakításában van csak különbség.

A SiTime széles választékban kínálja MEMS rezonátoros oszcillátorait. Már az alapsorozatban is találunk 1 ps-nál kisebb jitterrel működő 1…220 MHz frekvenciájú oszcillátorokat (SiT820X), nagy teljesítményű 1…150 MHz frekvenciás áramköröket (SiT8103, SiT8004, SiT8102) és alacsony frekvenciásakat (SiT8503). Az SiT8503 típus kimenőjele 200 kHz…1

23. ábra

MHz frekvenciájú lehet, a stabilitás 21 ppm. A kimenet LVCMOS vagy LVTTL jellegű, a tápáram 5,7 mA, a tápfeszültség 1,8…3,3 V. A legkisebb rendelhető tokozás mérete 2×2,3 mm. A kimenő impulzussorozat jittere 12 fs.

Többféle differenciáloszcillátor is szerepel a termékek között, 1 ps-nál kisebb jitterrel, 1…800 MHz frekvenciaértékekkel. A kisteljesítményű sorozatok között kétfrekvenciás (SiT8033), lapos tokozású (SiT8003XT és kis fogyasztású (SiT8003) szerepel. Az SiT8003 (**22. ábra**) 1…110 MHz frekvenciával működhet, 3,5 mA a fogyasztása. Pontossága 25 ppm, a tápfeszültsége 1,8…3,3 V közötti lehet.

A VCXO jellegű oszcillátorok típusjelei SiT38XX. A TCXO oszcillátoroknál a típusjel 500X jellegű (SiT5001, SiT5003, SiT5004 stb), ezek pontossága 1…5 ppm között változik, a jitterük névleges értéke 0,5 ps. Az óragenerátorok jelölése is egységes, 910X jellegű. Ezek mindegyikében három PLL áramkört helyeztek el, így három különféle frekvenciájú jelet állítanak elő, mindegyiket komplementer jelpárosként. A frekvenciaértékek 1…800 MHz között lehetnek, a jitter értéke 1 ps, a frekvenciapontosság 25…50 ppm.

Az *IDT* is gyárt MEMS rezonátoros oszcillátorokat, órajelgenerátorokat, ezekben piezoelektromos MEMS rezonátort alkalmaz, az áramköreit pMEMS márkanéven forgalmazza (**23 ábra**). A pMEMS tokján belül a MEMS részlet külön lapkán található, amit az elektronika csipjének felszínéhez erősítenek (**24. ábra**).

Az 5V800XX típusjelű áramkörökkel 2 MHz … 220 MHz közötti frekvenciákat állítanak elő, a jelek jittere 75 ps névlegesen, a frekvenciapontosság 50 ppm. A tápfeszültség 1,8 V illetve 3,3 V, az elektronikát LVCMOS áramkörrel kivitelezik. Egy-egy áramkör egy vagy két kimenettel rendelkezik.

A cég 4M sorozatú pMEMS oszcillátorainál a jitter értéke csak 1 ps, LVDS és LVPECL jelleggel készülnek. A ferekvenciapontosság ezeknél is 50 ppm. A felső frekvenciahatár itt magasabb, akár 625 MHz is lehet a kimenőjel.

A *Murata Manufacturing Co., Ltd.* a MEMS rezonátorok és oszcillátorok egyik nagy múltú, ma is rendkívül gyorsan fejlődő gyártója. Termékei között jelenleg is megtalálhatók a kvarcrezonátorok, a kerámiarezonátorok, az ezekkel kialakított oszcillátorok is, és a MEMS termékek is, a kvarcórák 32 768 Hz-es rezonátoraitól egészen az 52 MHz-es eszközökig.

A Murata MEMS rezonátorai és oszcillátorai a világon a legkisebb méretűek. Elemeinek frekvenciapontossága és stabilitása is kiemelkedő. A MEMS rezonátoraik akár 120 °C hőmérsékleten is üzemeltethetők, az eredeti elektromos paraméterek megtartása mellett.

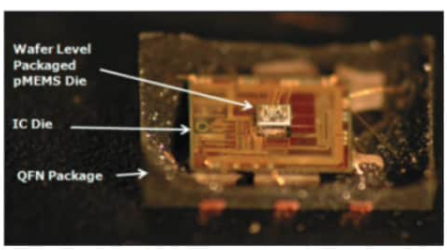
A Murata termékeit elsősorban orvostechnikai eszközökben és járműelektronikákban használják fel.

A Murata egyik csúcsterméke az órákban használatos 32,768 kHz-es frekvenciájú mikrominiatűr MEMS rezonátor. Az ezzel épített oszcillátor kis méretű, kis fogyasztású, így az elemek, akkumulátorok igen hosszú ideig képesek ezeket működtetni. A legújabb MEMS rezonátor több mint 50%-kal kisebb méretű, mint az elterjedt hasonló termékek, befoglaló méretei: 0,6×0,9×0,3 mm.

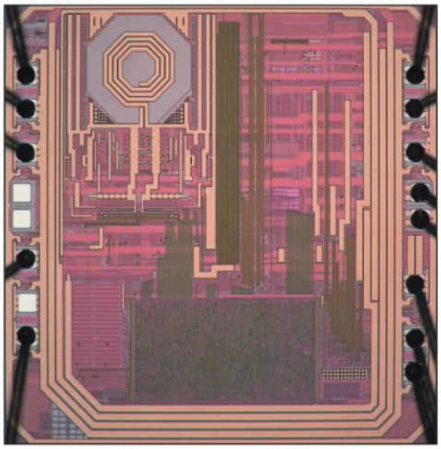
A CMOS MEMS oszcillátorok

A mikroelektronikában gyakori, hogy egy-egy áramkörtípus megnevezése közvetlenül nem utal az áramkör felépítésére, jellegére. Így pl. az első sikeres digitális integrált áramköri sorozat, a TTL IC-k elnevezése sem utal ezen áramkörök lényegére, arra, hogy ezeket bipoláris tranzisztorok alkotják. Mégis, mindenki tudja, hogy a TTL áramkörök így épülnek fel. Sajátos módon a másik nagy áramköri megoldás, a CMOS integrált áramkör ugyanúgy közbülső csatoló, illesztő elemek nélkül van felépítve a tranzisztorokból akár a TTL, így a CMOS megoldású áramköröket is lehetne TTL (Tranzisztor-Tranzisztor Logika) megnevezéssel illetni. Ezeknél viszont a felépítésükre használt tranzisztortípusra utaltak kezdettől fogva (Complementer-Metal-Oxid-Tranzisztor).

Hasonló a helyzet a CMOS MEMS oszcillátorok, MEMS óragenerátorok (CMOS MEMS Oscillators,CMOS MEMS Clocks) esetében is. Ezt a CMOS MEMS elnevezést jelenleg



24. ábra



25. ábra

azokra a MEMS technológiával készített integrált áramkörökre alkalmazzák, melyek mikroelektromechanikai megoldással kialakított induktivitásra épülő LC oszcillátort és CMOS kiegészítő áramköri részleteket tartalmaznak, monolitikus integrált áramkörként, esetleg két lapkából egy tokban összeszerelt megoldással. Esetenként hosszabb, pontosabb megnevezésekkel is találkozhatunk, pl. a következőkkel: Crystal Free CMOS oscillator, Crystal Free Solid-State oscillator, Self-Referenced CMOS Oscillator. Az egy szóba írt CrystalFree pl. az *IDT* (*Integrated Device Technology, Inc.*) bejegyzett márkajele.

A CMOS MEMS oszcillátorok tehát LC hangolásúak, azaz rezgőkörökkel működnek, a CMOS MEMS rezonátorok pedig nem egyebek, mint egy-egy rendkívül kicsiny méretű LC rezgőkör. Különböző értékű kapacitásokat már hosszú idő óta alkalmaznak a monolitikus áramkörökben, ezek mikroelektronikai kialakítása már hagyományosnak mondható, a csipek gyártósorain az általánosan használt gyártási lépésekkel megoldható. Az induktivitást azonban csak az utóbbi időben tudják létrehozni IC-gyártási lépések felhasználásával, a mikroelektromechanikai technológia alkalmazásával. A CMOS MEMS oszcillátorokban mozgó alkatrészeket ritkán alkalmaznak, viszont a mikroelektromechanika más eredményeit kiaknázzák, így a mikrométer, nanométer hosszúságú alkotóelemek nagy pontosságú előállítását, a különböző anyagok és anyagkombinációk felhasználásának lehetőségét. Ugyanakkor tartalék lehetőségként rendelkezésre áll a mozgó, elmozduló elemek lehetősége is, akár a hőmérsékletkompenzáló részletekben, akár a frekvenciaváltoztatást lehetővé tevő áramkörökben.

A MEMS technológiával előállított induktivitások nagy pontosságúak, viszont legtöbbször csak néhány menetesek, ezért az oszcillátorok igen magas frekvencián rezegnek. A több GHz-es frekvencia ezeknél az áramköröknél alsó határ, ha kisebb értékre van szükség, azt frekvenciaosztóval állítják elő.

Az alaposzcillátor frekvenciája az alkalmazott vonalszélesség csökkenésével egyre magasabb lehet. 2000 körül a kísérleti áramkörök 130 nm-es vonalszélességgel készültek, a működési frekvencia néhányszor 10 GHz lehetett. Mára az új áramkörökben a vonalszélesség 40 nm alá csökkent, a működési frekvencia általában több 100 GHz.

A kimeneti frekvenciát többnyire frekvenciaosztással állítják elő, általában nem alkalmaznak PLL részletet, nincs frekvenciatöbbszörözés. Ez kisebb zajosságot eredményez, valamint folyamatos frekvenciabeállítási lehetőséget. Az elektronika kis fogyasztású CMOS technológiájú, az oszcillátor áramfelvétele is minimális. A kvarcoszcillátorok szokásos áramfelvétele néhányszor 10 mA, a CMOS MEMS oszcillátoroké 1–2 mA, standby állapotban csak 100… 200 nA. További előny, hogy a rezonátorral működő oszcillátoroknál sokkal rövidebb az LC alapú áramkörök feléledési ideje, olcsóbban előállíthatóak és egyáltalán nem érzékenyek a külső mechanikai hatásokra. Ugyanakkor az elektromágneses interferencia szempontjából is kedvezőbbek a CMOS MEMS megoldások.

A CMOS MEMS áramköri elemek a rezonátoroknál nagyobb mértékben érzékenyek a környezeti hőmérséklet változásaira. A hőmérsékletfüggés kompenzáló áramkörök használatával tartható alacsony értéken. A MEMS induktivitás a CMOS elektronikával egyszerre alakítható ki egy szilíciumlapka felületén, így az oszcillátor mellé lehet telepíteni a hőmérsékletérzékelőt és a kompenzáló elektronikát is. A CMOS MEMS oszcillátorok gyártási költsége alacsony, nem igényelnek fém vagy fémkerámia tokozást, így olcsó termékek.

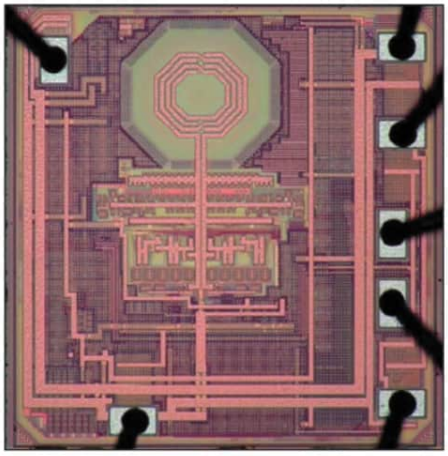
A frekvenciapontosság 50…150 ppm körüli, ami elmarad a rezonátoros megoldásoktól, de sok alkalmazásban elegendő. Tulajdonképpen az elektronikai készülékekben sok esetben felesleges a nagy frekvenciapontosságú oszcillátor használata. Célszerű lehet kisebb pontosságú, de olcsóbb CMOS MEMS oszcillátort használni a mobiltelefonokban, a laptopokban és egyéb kisméretű számítógépekben. Megfelelnek a CMOS rezgéskeltők az ETHERNET, SAS, SuperSpeed USB és PCI Express buszokhoz is. A fenti előnyöket is figyelembe véve ezekben az alkalmazásokban a leggyorsabb a CMOS MEMS oszcillátorok terjedése.

A CMOS MEMS oszcillátorok fejlesztésével számos cég is foglalkozik. Találni közöttük olyanokat, amelyek rezonátoros megoldások gyártásában is érdekeltek, de olyat is, amelyet kifejezetten a CMOS MEMS frekvenciaetalonok készítésére alapítottak. A továbbiakban példaként néhány olyan gyártóról szólunk, melyek jelentősebb választékban forgalmazzák a CMOS MEMS rezonátorokat, oszcillátorokat.

A *Mobius Microsystems Inc.* egy termelőkapacitás nélküli (fabless) félvezetőfejlesztő cég, többek között az IDT beszállítója. A Mobius kísérletezi ki a különféle CMOS MEMS rezonátorokat és oszcillátorokat, melyekre a megrendelői sorozattermékei épülnek.

A cég célkitűzése, hogy minden alkalmazási területen CMOS MEMS megoldással lehessen felváltani a korábbi rezonátoros, kristályos áramköröket. A Mobius elhatározta, hogy minden külső komponenstől, kvarcrezonátortól, nem CMOS komponenstől megszabadítja a CMOS technológiát, hogy így érje el a lehető legmagasabb szintű integrációt. Úgy találták, hogy a legtöbb adatmozgatási, adatfeldolgozási, kommunikációs feladat ellátására ez az új áramköri megoldás tökéletesen alkalmas.

A Mobius által kifejlesztett CMOS MEMS oszcillátor a *C*MOS *H*armonic *O*scillator (CHO) fantázianevet kapta. Mivel MEMS eljárással, azaz IC-gyártási lépésekkel készül, tetszőleges elektronikai részletekkel együtt is kialakítható a szilíciumlapka felszínén, így komplett áramköröket lehet készíteni. A **25. ábrán** egy, a Mobius által tervezett órajel-generátor (clock generator) látható, melynek területe 1,5×1,5 mm. Az áramkör 0,5…480 MHz közötti frekvenciákra állítható be külső vezérlőjelekkel, a vezérlést I^2C jelleggel oldotta meg a Mobius. Az órajel-generátor jellegnek megfelelően több frekvenciaosztó áramkör is elhelyezkedik a csipeken, ennek megfelelő számú kimeneti jellel. A teljes frekvenciapontossága 90 ppm. A **26. ábra** egy oszcillátort mutat be, ennek 0,4×0,55 mm a területe, USB 2.0 rendszerekhez készült. A lapkán a 3 GHz-es

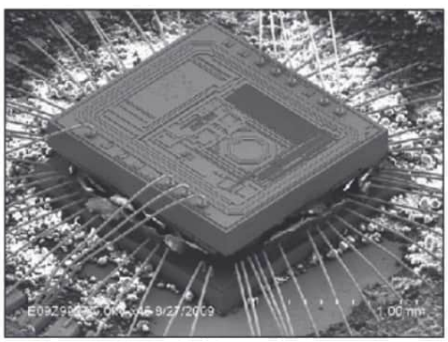


26. ábra

alaposzcillátoron kívül az osztóáramkör és a hőmérsékletkompenzáló részletek is megtalálhatók.

A Mobius oszcillátorokat is tervez, elektronikai részleteit a cég 100 nm körüli vonalszélességre alapozza. Az alaposzcillátorban az LC körök kapacitása általában két kondenzátorként van kialakítva. Az egyik nagy pontossággal trimmerelt értékű, a másik feszültséggel vezérelhető. Utóbbi fogadja a nagy pontosságú hőmérsékletérzékelőre és CMOS elektronikára épülő kompenzáló áramkör jelét, így az oszcillátor frekvenciája a hőmérsékletváltozások hatására alig tér el a névlegestől, a megengedhető hőmérsékletértékek működés közben -20…+ 90 °C. A Mobius analóg hőmérsékletkompenzációs technikát alkalmaz termékeiben.

Az *IDT* az új megoldású MEMS frekvenciaetalonok egyik legnagyobb gyártója, elsősorban a Mobius által tervezett CHO jellegű CMOS MEMS oszcillátorokra alapozza termékei fejlesztését. Áramköreiben sokszor egyéb csipekkel is ki kell egészíteni az oszcillátort. Ilyen esetben a Mobius CMOS MEMS oszcillátort a további elektronikát tartalmazó szilíciumlapkára erősítik felülről (**27. ábra**), majd összehuzalozzák a kettőt és tokozzák. Az LC oszcillátort így alulról a „hordozó" CMOS



27. ábra

28. ábra

szilíciumlapka tökéletesen árnyékolja, de felfelé erősen sugároz. Az IDT termékekben ezért felülről a Mobius lapkát egy fém kupolával takarják le, így az áramkör már nem „szennyezi" a környezetét.

Mint már említettük, az IDT a kvarckristály nélküli oszcillátorait CrystalFree CMOS Oscillator márkanévvel forgalmazza (**28. ábra**). Az *Electronic Products* szakmai magazin 2011-ben ennek az áramkörcsaládnak ítélte a „Product of the Year" díjat, népszerűségük azóta sem csökkent.

A 3C sorozat frekvenciapontossága 100 ppm, a 3L sorozaté 150 ppm. A jitter értéke a 3C sorozatban legfeljebb 40 ps, a 3L sorozatnál kisebb, mint 1 ps. Az oszcillátorokat kisméretű SMD tokokban forgalmazzák, fogyasztásuk 2 mA. Mint általában a kvarcmentes oszcillátorok, ezek sem érzékenyek rázásra, ütésre. Az oszcillátorokat 24…125 MHz frekvenciatartományban gyártják, 2,5…3,3 V közötti tápfeszültségre. A később bevezetett 3LG sorozatnál a frekvenciapontosság tovább javult (50 ppm).

A CrystalFree oszcillátorok a megfelelő kvarcoszcillátorokkal lábkompatíbilisek, így az átváltás igen egyszerű ezekre az új termékekre. A 3C és 3L sorozatban megtalálhatók a különleges oszcillátorok (pl. LVDS, LVPECL, HCSL) is.

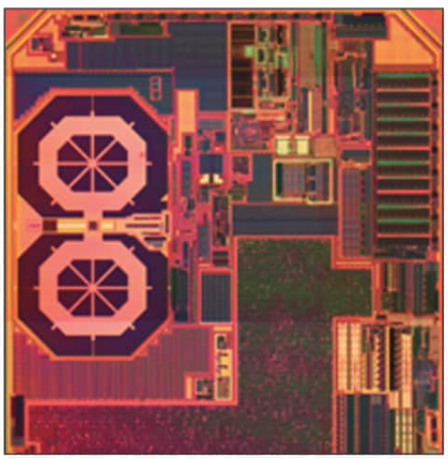
A 3DN és a 3FN sorozatú CrystalFree áramkörök 50 ppm pontosságúak, a tápfeszültség-tartományuk

29. ábra

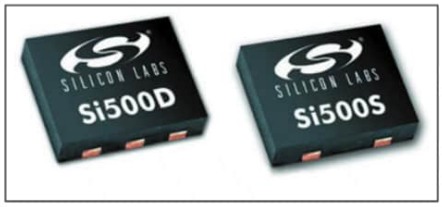
1,8…3,3 V, 4…133 MHz közötti frekvenciákkal készülnek LVCMNOS kimenetekkel. 2×2,5 mm területű SMD tokkal készülnek, kivezetések nélkül, magasságuk 0,55 mm.

A *Silicon Laboratories (Silicon Labs, SiLabs)* a Silicon Clock által létrehozott, gyártókapacitás nélküli (fabless) fejlesztő cég, melynek alapvető célja, hogy olyan technológiát dolgozzon ki, melyet bármelyik mikroelektronikai gyártó a gyártósorán kivitelezni képes. Ehhez a CMOS MEMS megoldást választották alapul, termékeik fantázianeve CMEMS (**29. ábra**). A SiLabs reklámfotóján egy CMEMS áramkör felépítése is követhető, láthatóan igen összetett szerkezetről van szó. Ugyanakkor az egyes lapkák mind hagyományos gyártósoron készülnek, ezért egyszerűbb áramkörök, pl. egy oszcillátor, egyetlen csipen is kivitelezhetők. Termékeik megfelelnek a kvarckristályos megoldások legjobb tulajdonságainak, miközben jobb a stabilitásuk, a megbízhatóságuk, és ami a legfontosabb, egy-egy termék tervezésének átfutási ideje sokkal rövidebb. A cég úgy véli, hogy ma a CMEMS a kategóriájában a legjobb általános célú oszcillátor-megoldás a költség- és teljesítménykorlátozott beágyazott, ipari és szórakoztató elektronikai alkalmazásokhoz. A SiLab szerződéses kapcsolatban áll a legfejlettebb kínai gyártóval, így termékei prototípusait is, sorozatgyártott változatait is az SMIC gyártósorain készítik.

A SiLab az Si500 sorozatával jelent meg a CMOS MEMS oszcillátorok piacán. Az oszcillátorcsip felszínének fényképén (**30. ábra**) látható, hogy itt is az alaposzcillátorral együtt kiegészítő áramköri részletek is megjelennek. Az áramkörök 130 nm-es CMOS technológiával készülnek. A Silicon Labs is



30. ábra



31. ábra

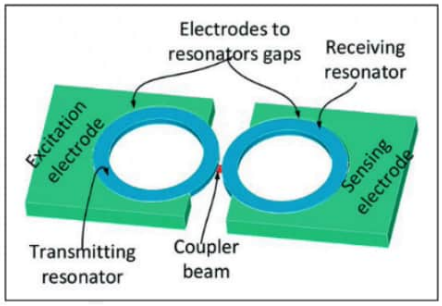
beépíti az oszcillátor mellé a hőmérséklet-kompenzációt, de a pontosabb eredmény érdekében digitális megoldást alkalmaz. A sorozat frekvenciapontossága 150 ppm. A hőmérséklet-érzékelő jelét A/D digitalizálja, a kompenzációs értékeket digitális logikai áramköri részlet határozza meg, majd az eredmény A/D-n keresztül jut el az oszcillátorhoz. Az Si500 sorozat 3,2×4 mm felületű SMD tokozással készül (**31. ábra**), 32 kHz…200 MHz közötti frekvenciákat állít elő, frekvenciapontosságuk 20 ppm körüli. A SiLab termékekre tízszer hosszabb működési időt garantál a fejlesztő, mint amit bármely más, azonos kategóriájú termék gyártója. A kimeneti fokozat CMOS, LVPECL, LVDS, HCSL vagy SSTL is lehet. Megrendelésre két kimenetű áramköröket is szállítanak (mindkét kimenet azonos frekvenciájú).

Az oszcillátorok többsége egy *OE* csatlakozóponton keresztül vezérelhető. Az ilyen vezérelhető oszcillátoroknál háromállapotú kimenetet lehet alkalmazni, vagy leállítható oszcillátor, vagy kis fogyasztású működésre lehet átkapcsolni. A tápfeszültség 1,8…3,3 V közötti lehet, a tápáram 8 mA.

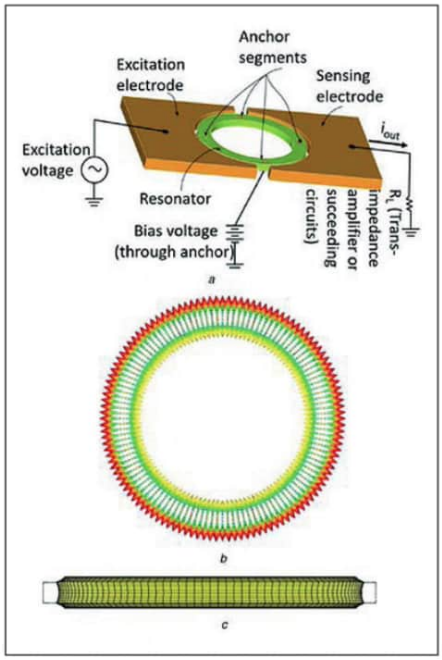
A sorozat tagjai a CMOS MEMS oszcillátorok általános tulajdonságaival rendelkeznek, azaz nem érzékenyek mechanikai hatásokra, olcsó tokozással készülhetnek, rövid a felélédési idejük.

Összefoglalás helyett

Az előzőekben elsősorban az volt a célunk, hogy a monolitikus MEMS oszcillátorok kifejlesztéséhez ve-



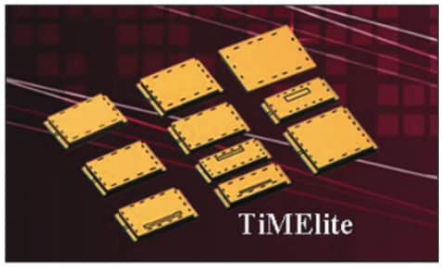
32. ábra



33. ábra

zető utat bemutassuk, megkíséreltük az ide tartozó termékeket rendszerezni. A mikroelektronika és a mikroelektromechanika napról napra újdonságokkal jelentkezik, ezek közé tartoznak a bemutatott MEMS oszcillátorok is. Ugyanakkor két-három nagyságrenddel kisebb méretekkel egy új technológia is megjelent, a nanotechnológia.

Az előzőek alapján felvetődhet a kérdés, hogy a MEMS technológia felhasználásával lehet-e szűrőket készíteni? Az elektronikai elemek piacán még nincs nagy választék ilyen termékekből, de a válasz egyértelműen: igen! Lehet és érdemes, bár jelenleg a MEMS szűrők fejlesztése a legtöbb cégnél kísérleti fázisban van. Foglalkoznak rezonátor-alapú és LC jellegű MEMS szűrők fejlesztésével is. Az interneten kutakodva nagyszámú folyóiratcikket lehet találni a témáról, de még csak kevés adatlapot, termékajánlatot. A gyártók fejlesztőin kívül sok egyetem is foglalkozik ezekkel az eszközökkel. Az *IET* (*I*nstitution of *E*ngineers and *T*echnology) indiai egyetem nemcsak figyelemmel kíséri és összegzi a MEMS szűrőkre vonatkozó ismereteket, hanem saját ötleteket is kidolgoz. A MEMS megoldás előnye, hogy a szűrők fokozatai közötti csatolást sok különféle módon meg lehet oldani, s ezek többsége elektronikusan befolyásolható, a szűrők a rezonátorok és a csatolóelemek változtatásával hangolhatóvá válnak. Egy egyszerű, kétfokozatú MEMS rezonátoros



34. ábra

IET szűrő vázlata látható a **32. ábrán**. A **33. ábrán** az IET kutatói különleges javaslata szerepel, a gyűrűs rezonátorból kialakított szegmentált, sokfokozatú szűrő. Az egyetem együttműködik fejlesztő és gyártó cégekkel, akik több javaslatukat átvették már. Egyes gyártók alacsonyabb frekvenciákra MEMS kivitelű akusztikus üregekre épülő szűrőkkel is kísérleteznek.

Néhány gyártó már forgalmaz MEMS szűrőket. Példaként említjük a *TiMElite Mycrosystems Corp.* céget, mely Sanghajban működik. Ez a cég jelentkezett a piacon először MEMS szűrőkkel (**34. ábra**). A rezonátor alapú RF szűrőik rendkívül kis térfogatúak, könnyűek, interferencia-mentesek, 2 GHz és 50 GHz közötti sávszélességgel működnek. A cég sávzáró és sáváteresztő változatokat gyárt, de a felhasználó kívánságára szinte tetszőleges átviteli karakterisztikákat meg tudnak valósítani. Az alaptípusok katalógusában jelenleg 66 típus látható, közülük több hangolható változatú is.

A MEMS technológia lehetőségeit a TiMElite mikrominiatűr LC szűrők gyártására is kihasználja. Ezek a szűrők is rendkívül kis méretűek (**35. ábra**), rendelhetők hibrid felépítésű IC-ben való belső felhasználásra, vagy SMT tokozással önálló áramköri egységként. Frekvenciatartományuk 0,5…20 GHz. A katalógusukban

35. ábra

hét típus szerepel, a sávszélességük 0,81…6,55 GHz között választható.

A NEMS (*N*ano-*E*lectro-*M*echanical *S*ystems) oszcillátorokban a rezonátort, az LC elemeket nanoelektromechanikai módszerekkel alakítják ki. A kísérleti áramkörök a 10 MHz…néhány 100 GHz tartományban működnek. A NEMS rezonátorok 10…100 nm mérettartományban készülnek, a kisebb méretek következménye a magasabb frekvencia.

Egy sajátos nanotechnológiai elem a szén nanocső. Különleges mechanikai és villamos tulajdonságai révén máris számos alkalmazási területe van, a mi szempontunkból fontos alkalmazása az oszcillátor készítése, melyben rezonátorként szerepel.

Az elektronikai kutatólaboratóriumok közül sok foglalkozik a nanotechnológiával, többek között az IBM is. Itt már 2006-ban sikerült CMOS áramköri részletek és egy szén nanocső kombinációjaként egy 5 fokozatú gyűrűs oszcillátor prototípusát létrehozni, amelyik 52 MHz-es frekvenciájú rezgéseket állított elő.

Soha nem látott kis méretű oszcillátorokat lehet majd ezzel a megoldással építeni, kis fogyasztással. Ugyanakkor további alkalmazási lehetőségek is várhatóak. Mivel a nanomechanikai elemek, így a nanocső is sok különféle fizikai, kémiai hatásra is érzékeny, várhatóan egyszerű, rendkívül kis méretű és ugyanakkor igen érzékeny szenzorokat lehet majd kialakítani ilyen oszcillátorok segítségével, melyek közvetlenül digitális jelet szolgáltatnak majd.

Az oszcillátor-áramkörök gyártása gyors fejlődésen megy keresztül. Jelenleg még a kvarckristályos megoldások igen népszerűek, sok fejlesztő nem szívesen vált át a MEMS megoldású áramkörökre. Várható azonban, hogy az új eszközök, miután bizonyítanak az alkalmazásokban, hamarosan átveszik a vezető helyet a piacon.

Felhasznált irodalom:

A fotók és grafikák forrásai a megnevezett fejlesztők, gyártók hivatalos internetes honlapjai, a vonalas ábrák a szerző saját munkái.

Próbapanelek és hozzá való vezetékek – kezdőknek és haladóknak

csak **1490 Ft**

Próbapanel kicsi

165 x 55 x 8,5 mm
bekötési pontok száma: 630
fővonal bek. pontok száma: 200

csak **2490 Ft**

Próbapanel nagy

145 x 82 x 8,5 mm
bekötési pontok száma: 900
fővonal bek. pontok száma: 200

Próbapanel vezeték szett: 115 mm 55 db, 160 mm 10 db, 200 mm 5 db, 250 mm 5 db csak **1490 Ft**

HAM-bazár Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép. Nyitva: H-P. 09–14 ó, Csüt.: 09–17 óra
Postán is elküldjük, a postaköltség felszámításával. 1550 Budapest, Pf. 123
(36 1) 239-4932/ 36 m., 239-4933/36 mell. hambazar@radiovilag.hu www.radiovilag.hu 5

ÚJ akkuárak a HAM-bazárban!

200 mAh-s	6F22- (9 V-os telep-) méretű	NiMH akku	1900 Ft/db
220 mAh-s	6F22-(9 V-os telep-) méretű	NiMH akku	2000 Ft/db
850 mAh-s	AAA- (mikroelem-) méretű	NiMH akku	350 Ft/db
1000 mAh-s	AAA- (mikroelem-) méretű	NiMH akku	600 Ft/db
2000 mAh-s	AA-méretű, forrfüles	NiMH akku	750 Ft/db
2300 mAh-s	AA- (ceruzaelem-) méretű	NiMH akku	750 Ft/db
2600 mAh-s	AA- (ceruzaelem-) méretű	NiMH akku	850 Ft/db
2900 mAh-s	C-méretű (bébi) forrfüles	NiMH akku	1250 Ft/db

(áfás árak)

Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em., H-P. 09–14, Cs. 09–17 óra.
Tel./fax: 239-4932, 239-4933, 36-os mellék,
hambazar@radiovilag.hu www.radiovilag.hu

Ne sokat elemezzen, inkább akkuzzon!

16

Hőfokfüggetlen kvarcoszcillátorok!?

Dr. Madarász László okl. villamosmérnök, madarasz@3lan.hu

A kvarcoszcillátorok rendkívül népszerűek. Már hosszabb ideje készen, integrált kivitelben lehet megvásárolni ezeket a rezgéskeltőket, kisméretű fémtokban, sőt, akár még apróbb SMD jellegű műanyag tokozásban. De közismert, hogy a hőmérséklet változásai többé-kevésbé elhangolják ezeket az áramköröket. A fejlesztők egyik célja ezért a hőmérsékletfüggés csökkentése. De megoldható a teljes függetlenség? A kérdésre utal a cím végén a kérdőjel. Az elért eredményeket tekinti át a cikk.

A teljes, 100%-os hatások, értékek a termékek között igen ritkák, annak ellenére, hogy a gyártók sokszor a teljességre utaló megnevezéseket használnak. De a szabványokból kiderül, hogy mi a valóság. Az energiamentesnek megjelölhető élelmiszerek energiatartalmának szabvány szerint megengedett határértéke pl. 4 kcal/100 ml. A cukormentes élelmiszer pedig akár 0,5 g/100 g, folyadék esetén 0,5 g/100 ml cukrot tartalmazhat. Ha ezt tudomásul vesszük, a hőfokfüggetlen kvarcoszcillátor is csak definíció, szabvány kérdése… Mielőtt a lehetséges megoldásokra rátérnénk, még kicsit kalandozzunk a teljes értékű termékek világában!

Az egyik ismert fertőtlenítő hatású mosószer-adalékot korábban úgy hirdették, hogy elpusztítja a baktériumokat, vírusokat, gombákat. Értsd úgy, hogy mindet. Ma óvatosabb a gyártó, pontosabban adja meg az adalékanyag hatását, ez szerepel a flakonokon (és a reklámokban): használata elpusztítja a kórokozók 99,9%-át. Valószínűleg nem változtattak az adalék összetételén, de a gyártó nem kíván kártérítést fizetni, ha valaki a házi elektronmikroszkópjával a frissen mosott ruhában egy-két vírust felfedez… De félretéve a tréfát, a háziasszony bizonyosan továbbra is teljes fertőtlenítő hatásúnak tekinti ezt a szert, hiszen *gyakorlatilag* a teljes fertőtlenítés és a 99,9%-os ugyanazt jelenti.

Egy szakmaközeli példát is bemutatunk. Az elektromechanikai érintkezők ismert, sokszor kellemetlen viselkedése a pergés (pattogás). Az alkalmazások nagy részében a kapcsolók, nyomógombok, jelfogók érintkezőiről származó villamos jeleket áramköri vagy szoftveres úton pergésmentesíteni szükséges, hogy egy átkapcsoláskor csak egyetlen villamos jelváltozás lépjen fel. Megjelenésükkor az átpattanó érintkezőkkel készült mikrokapcsolókat pergésmentesként kezelték a szakemberek, mert elektromechanikai környezetben a korábbi kapcsolómegoldásokhoz képest úgy tűnt, hogy az érintkezőik nem peregnek. Ahogyan a mikrokapcsolóval működtetett áramkörök között feltűntek az elektronikai kapcsolások, kiderült, hogy csalódni kellett ezekben az érintkezőrendszerekben. Ha egy számláló áramkör bemenetére mikrokapcsolóval előállított **L** és **H** szinteket vezetünk, egy-egy nyomógombműködtetéskor a számláló tartalma nem eggyel, hanem véletlenszerűen akár 5…10 értékkel is nőhet. Igaz, egy hagyományos érintkezőnél a pattogások száma százas érték is lehetett. Az 1960-as évek végén kiadott, az elektromechanikai érintkezők minőségével foglalkozó szabványban is megjelent a „pergésmentes érintkező" minőség, amit így határozott meg a szabvány: pergésmentes az az elektromechanikus érintkező, melynek pergési ideje kisebb, mint 20 ms. Ezt pedig a jobb mikrokapcsolók valóban teljesítették. A mágnesezett érintkezőkkel működő reed-relék még kevésbé hajlamosak a pergésre, de a valódi pergésmentes működést még ezeknél is csak hardveres vagy szoftveres pergésmentesítéssel lehet elérni. (Megjegyezzük, hogy léteznek valódi pergésmentes nyomógombok, kapcsolóelemek is: pl. a Hall-elemes szerkezetek, de ezekben nincs elektromechanikai érintkező.)

A vizsgálati eszközök minőségének javulása, a mérés pontossága, a felbontóképesség finomodása más esetekben is kimutathatóvá tesz egészen kis változásokat, anyagmennyiségeket. Ezzel együtt jelentek meg a törtrészek újszerű megnevezései, amelyek a továbbiakban egyszer-egyszer előfordulnak majd. A századrész (%, százalék) és az ezredrész (‰, ezrelék) már nem volt kellően finom felbontás, kisebb hányadokat jelölnek az új, amerikai eredetű előtagok (emiatt a számnevek az amerikai szóhasználatnak megfelelőek ezekben). Ezek azt jelzik, hogy az adott egység az egész hányad része. Az érthetőség kedvéért a százalékot és az ezreléket is megadjuk ebben a formában, majd a leggyakoribb további előtagokat is felsoroljuk:

Part per 100
(az egész százada), a százalék,
Part per 1000
(az egész ezrede), az ezrelék,
Part per million
(az egész milliomod része), ppm,
Part per billion
(az egész milliárdod része), ppb,
Part per trillion
(az egész billiomod része), ppt.

A zárójelekben az európai számrendszerekben érvényes értékek láthatóak, azaz pl. a ppb milliárdod részt, 10^{-12} értéket jelöl. E kis anomáliák ellenére a ppm, ppb előtagok használata Európában is egyre megszokottabb a kis arányok megjelölésére (pl. a légszennyezettségi értékeknél).

A technológiák fejlődésével változott a „tiszta, szennyeződések nélküli anyag" fogalma is. A fémkohászat hagyományos ötvözőanyaga a szilícium, természetesen igyekeztek tiszta anyagot felhasználni. Az ötvözéshez

1. ábra

felhasznált szilíciumnak a tisztasága 99,9%, ami azt jelenti, hogy 1000 atomból csak egy lehet idegen, a többi Si. A mikroelektronikai gyártáshoz felhasznált szilícium is tiszta anyag, de egészen más itt a tisztaság mértéke! A szeletek előállításához használt egykristály rúdban az idegen anyag nem lehet több, mint 1 ppb, azaz minden egymilliárd atomból 999 999 999-nek szilíciumnak kell lennie, egyetlen egy lehet más anyag!

A „tiszta arany" megjelölés is figyelmet érdemel. Korábban pénzérmék is készültek aranyból; az **1. ábrán** Mátyás király Körmöcbányán vert aranyforintja látható. Ma elsősorban ékszerek és aranytömbök készülnek ebből az értékes nemesfémből. Az arany esetében egy külön jelölésrendszerrel adják meg az ötvözet aranytartalmát, karátban. A karátérték azt mutatja meg, hogy az ötvözet hány 24-ed rész aranyat tartalmaz. Ez azt jelenti, hogy a kémiai értelemben tiszta arany 24 karátos. De az ékszerészek csak 9, 14 és 18 karátos arannyal dolgoznak. A kémiailag tiszta arany ugyanis olyan lágy, hogy alkalmatlan ékszerek készítésére! Egyébként a kémiai tisztaság egy dolog, az arany tisztaságát szabvány rögzíti, és eszerint akkor jelölhető az arany 24 karátosnak, ha 999/1000 részarányú benne a nemesfém (azaz 99,9%).

Közeledünk a hőfokfüggetlenség témához, de még egy példát szeretnénk előbb körüljárni. A mikroelektronikai eszközök gyártásakor közismert, hogy rendkívüliek a tisztasági követelmények. Az Intel már alapításakor is nagy gondot fordított a tisztaságra, de mai szemmel az akkori tiszta szobákkal kapcsolatos előírások megmosolyogtatók. Egyszerűen jó minőségű légkondicionáló berendezésekkel kialakított, tisztán tartott szobákról, termekről volt szó. A dolgozók saját utcai ruhájukban tényked tek, a környezet sem volt steril. Ismert eset, hogy az első gyárban (Fab 1., Santa Clara) a dolgozók a pizzafutártól átvett friss pizzákat a diffúziós kemencék tetejére tették, hogy melegen maradjanak…

1971-ben a Fab 2.-ben (Santa Clara) indult meg a mikroprocesszorok gyártása, itt a dolgozók már gyári munkaköpenyt kaptak. A köpenyt viszont hazavitték, otthon mosták ki, munka közben pedig egyszerűen az utcai ruhájuk felett viselték. Egyre nyilvánvalóbbá vált azonban, hogy a hibás csipek jelentős részéért a ruházatról származó szennyeződés, a leváló apró fonaldarabok a felelősek. 1973-ban, a Fab 3.-ban (Livermore) vezették be a „nyuszi öltönyt" (Bunny Suit), a mikroelektronikai gyártósoroknál azóta is kötelezően viselt fehér kezeslábasokat (**2. ábra**). De a gyártócsarnok légterére még mindig csak a szokásos tisztasági követelményeket tekintették érvényesnek.

A gyártósort befogadó tiszta szoba (Clean Room) levegőminőségével csak az 1980-as években kezdtek alaposabban foglalkozni. Gyorsan kiderült, hogy a gyártósorok körül a levegő egyáltalán nem tiszta. A minőségi besorolást tartalmazó első szabvány Amerikában jelent meg 2001-ben, ez a US FED-STD-209E jelzésű szabvány (**1. táblázat**). A szabványban meghatározták, hogy milyen méretű szennyező részecskéből legfeljebb hány darab lebeghet egy köbláb légtérben. Egy köbláb (ft3) kb. 0,02832 m^3, azaz

Osztály (Class)	Lebegő részecskék mérete, um					ISO szerint
	≥ 0,1	≥ 0,2	≥ 0,3	≥ 0,5	≥ 5	
1	35	7,5	3	1	0,007	ISO3
10	350	75	30	10	0,07	ISO4
100	3 500	750	300	100	0,7	ISO5
1 000	35 000	7 500	3 000	1 000	7	ISO6
10 000	350 000	75 000	30 000	10 000	70	ISO7
100 000	3 500 000	750 000	300 000	100 000	700	ISO8

1. táblázat. Az US FED STD 209E szabvány adattáblázata, maximális részecskeszám/ft3

2. ábra

28,32 l. Eredetileg hat minőségi osztályt (Class) állapítottak meg (Class 1…100 000). Az osztályok számjele azt mutatta meg, hogy egy köblábnyi levegőben hány olyan részecske lehet, melynek a mérete 0,3…0,5 um közötti. Később a szabványt többször átdolgozták, a fokozatok közé újabbakat is beiktattak. Számos más szabvány is megjelent, Európában az ISO 14644-1 szabványban jelentek meg először a tiszta szoba légszennyezettségi határértékei (ISO1 … ISO9), ez a szabvány 1 m^3 levegőre adja meg a határértékeket. Az 1. táblázatban az amerikai besorolásnak megfelelő ISO értékeket is feltüntettük.

A mikroelektronikai gyártásban szereplő tiszta szoba fogalma tehát nem egyértelmű, de a különféle gyártási események is más-más igényeket támasztanak. Ma a csipgyártáshoz Class 1…10 tisztaságú légteret írnak elő, a tokozáshoz Class 10 000 a követelmény. Az IC-k tesztelésére használt csarnokban az előírás Class 100 000. És ezek mindegyike tiszta szoba! Ma már a tiszta szobák megvalósítása önálló iparág, az ebben működő cégek a megengedett szennyezettségre vonatkozó adatok alapján tervezik meg és készítik el a tiszta terű gyártócsarnokokat, kórházi műtőket, laboratóriumokat.

A kvarcoszcillátorok megjelenésükkor a rendkívüli frekvenciastabilitásukkal tűntek ki a rezgéskeltők közül, ezért emlegették sokan ezeket az áramköröket hőfokfüggetlenként. Azóta a hőmérséklet hatását a működési frekvenciára sikerült tovább csökkenteni, így a mai kvarcoszcillátorok még kevésbé reagálnak a hőmérséklet változásaira. De a legjobbaknál is pl. néhány század ppm melegedéskor a frekvenciaváltozás, ami hihetetlenül kis érték, de mégsem zérus. Az ilyen stabilitású változatok az első áramkörökhöz képest mindenesetre nyugodtan tekinthetőek valóban hőmérsékletfüggetlennek. Hiszen, mint láttuk, a pergésmentes

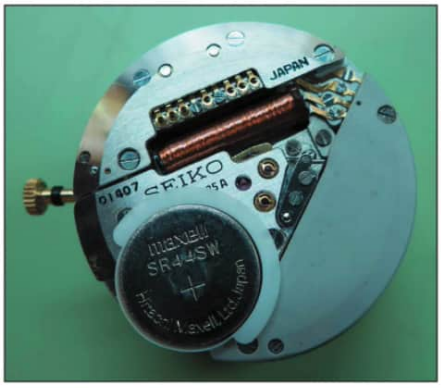
kapcsoló is pereg egy kicsit, a cukormentes üdítőben is van egy kevés cukor, a tiszta szoba levegőjében is van némi szennyeződés…

A kvarcoszcillátorok megjelenése, felépítése

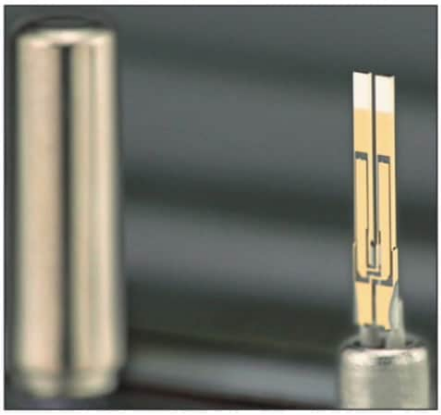
Az első, kvarcoszcillátor-tárgyú szabadalmat *Walter Guyton Cady* nevére jegyezték be Amerikában, 1921-ben. Cady az amerikai Wesleyan University fizikaprofesszora volt, a piezoelektromosság egyik első kutatója. Természetesen ez az oszcillátor elektroncsővel működött. Az I. világháborúban az amerikai hadseregben a szonárokhoz és a rádióadókhoz már kvarcoszcillátorokat használtak fel. A második világháború idején már a legtöbb hadseregben a híradós eszközökben, radarokban tömegesen alkalmazták a kvarcoszcillátorokat, és megjelentek a kvarcoszcillátoros időmérő eszközök is. Érdekes adalék, hogy a hazai rádióamatőrök körében sokáig szinte ismeretlen volt ez a rezgéskeltési lehetőség. *Magyari Béla* népszerű könyvének, a Rádióamatőrök zsebkönyvének első kiadásai (Műszaki Könyvkiadó, 1954., 1955., 1960., 1963) nem is említik a rezgőkvarcot, csak a harmadik, átdolgozott és kiegészített kiadásban olvashattunk róla, 1967-ben. *Dr. Tarnay Kálmán* Elektroncsöves kapcsolások c. könyve (Elektronika sorozat, 1959, Műszaki Könyvkiadó) már foglalkozik a kristályoszcillátorokkal, de mindössze két oldal terjedelemben… Természetesen ma már tranzisztorokkal vagy integrált áramkörökkel építik a kvarcoszcillátorokat.

A katonai alkalmazások mellett leghamarabb az óraiparban nyert a kvarcoszcillátor tömeges felhasználást. Az első kereskedelmi forgalomba kerülő kvarckristályos karóra a Seiko Quartz Astron 35SQ típusa volt (**3. ábra**). Az 1969-ben forgalomba hozott óraszerkezetben számos új megoldást alkalmaztak, melyek többsége máig is használatban van. Az SR44 elemmel működő szerkezetben (**4. ábra**) egy miniatűr léptetőmotor hajtotta meg a fogaskerékrendszert, a működési frekvenciát 8192 Hz-es kvarcoszcillátor állította elő, ennek impulzusait egy óra-IC dolgozta fel, ez vezérelte a motort. Az első sorozatoknál az óra-IC hibridáramkör volt, a kerámia alaplapra kézzel forrasztották fel a nagyszámú alkatrészt a dolgozók. Az Astron 35SQ leírásában szobahőmérsékleten legfeljebb napi ±0,2 s pontatlanságot garantált a gyártó, ami évi ±5 min-ot jelent. Az órába egy hangvilla-alakú (fork-shaped, tunning-fork) kvarckristályt építettek be (**5. ábra**). (Alacsonyabb frekvenciákra később is ezt a geometriát alkalmazták, magasabb frekvenciákra a különféle metszési síkokkal gyártott téglatest alakú vagy korongszerű lapkákat.) Az oszcillátor pontos frekvenciáját egy mikroméretű kapcsolósorral lehetett pontosítani. A Quartz Astron megjelenésekor a mechanikai karórák általában napi ±10 s pontosságúak voltak, így igen nagy feltűnést keltett az új Seiko karóra. Borsos ára ellenére (450 000 jen, azaz 1250 USA dollár, ami egy közepes méretű autó ára volt akkor) már a megjelenését követően első héten 100 darabot adtak el. Az óra árát az is fokozta, hogy a tokozása 18 karátos aranyból készült.

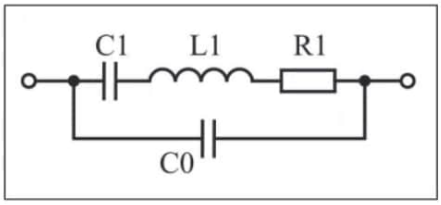
3. ábra



4. ábra



5. ábra



6. ábra

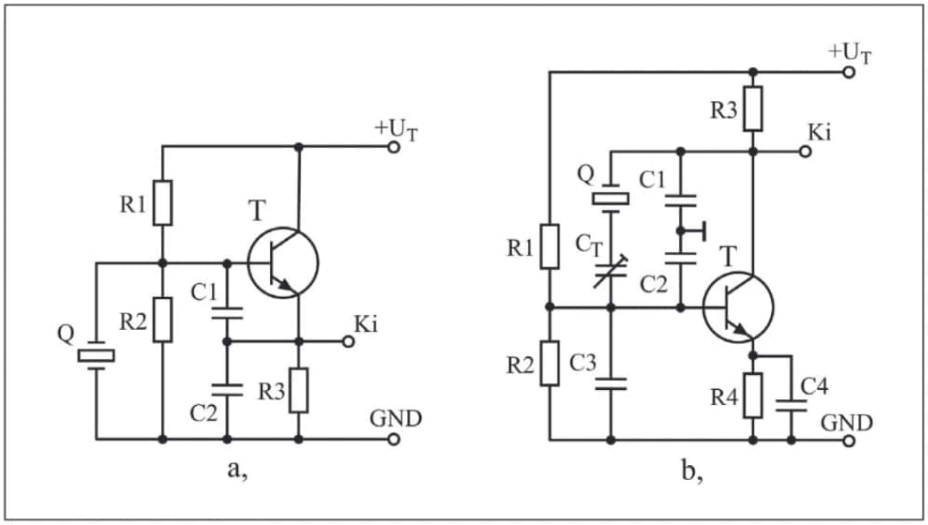
A Seiko újdonsága forradalmasította az óragyártást, mára gyakorlatilag egyeduralkodóvá váltak a kvarcoszcillátorral működő elektronikai karórák. Idő közben az alaptípusok mellett (magasabb árért) még pontosabb, hőmérsékletkompenzált változatok is megjelentek, a kvarcoszcillátor frekvenciáját pedig 32 768 Hz-re emelték (ez jelenleg is a szokásos oszcillátorfrekvencia az órák számára). A kvarcórák az 1970-es években robbanásszerűen törtek be a karórák piacára, ennek hatására majdnem tönkrement a svájci (mechanikai szerkezetekre épülő) óraipar – ez volt az ún. kvarcválság.

A kvarcoszcillátorban egy megfelelő erősítési tényezőjű és fázisszögű erősítő visszacsatoló hálózatában helyezik el a rezgőkvarcot, ami a berezgő áramkör frekvenciáját határozza meg, az oszcillátor a kvarc rezonanciafrekvenciáján rezeg. A rezgőkvarcok lapkáit a kvarckristályból nagyon pontosan, meghatározott szögek alatt kell kimetszeni, a metszési módra betűkódokkal szoktak hivatkozni (pl. AT, SC metszés). A metszési mód határozza meg a kristály viselkedését, frekvenciájának stabilitását, energiaigényét. A kvarckristály ismert helyettesítő képe (**6. ábra**) alapján látható, hogy soros vagy párhuzamos rezgőkörként is működhet, így soros és párhuzamos rezonanciafrekvenciája is van (ezek egymáshoz közeli értékek). A soros rezonanciafrekvencia (f_S) értéke így határozható meg a helyettesítő kép elemértékeiből:

$$f_S = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1\,C1}}$$

A párhuzamos rezonanciafrekvencia (f_P) pedig így számítható ki:

$$f_P = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1\,\frac{C0\,C1}{C0+C1}}}$$



7. ábra

A kvarckristály jósági tényezője nagyon magas (10^4…10^6 közötti értékű, szemben az LC rezgőkörök szokásos, 10^2 nagyságrendjével), ezért egyszerű áramkörökkel is nagy megbízhatóságú, stabil, kis fogyasztású rezgéskeltőket lehet vele építeni. Az egyik népszerű kvarcoszcillátor a Colpitts kapcsolás (**7.a ábra**), ahol a kristály soros rezonanciafrekvencián működik. Párhuzamos rezonanciafrekvencián rezeg a kvarc a szintén közismert Pierce-oszcillátorban (**7.b ábra**). A kvarckristály ma használatos metszési síkjait, rövid elméleti és gyakorlati összefoglaló keretében, pl. a https://www.fcd-tech.com/application-notes ismerteti.

Digitális áramköri elemek segítségével is egyszerűen kialakítható kvarcoszcillátor. Ezt használják ki pl. a mikrovezérlők esetében, ahol a külső kvarckristályt az IC-ben levő inverter kivezetéseihez lehet csatlakoztatni. A mikrovezérlők gyártói részletesen foglalkoznak a kvarcoszcillátoros működtetéssel, pl. az egyik legnagyobb cég, a Microchip Technology Inc. több alkalmazási útmutatót is kiadott ebben a témában (pl. AN588, AN826, AN849, AN943, AN949), amik szabadon letölthetőek a honlapjukról. A cég által ajánlott megoldást a **8. ábra** mutatja be, a kristály körül felhasználásra kerülő további külső alkatrészek értékére is ezekben a segédletekben kaphatunk ajánlásokat.

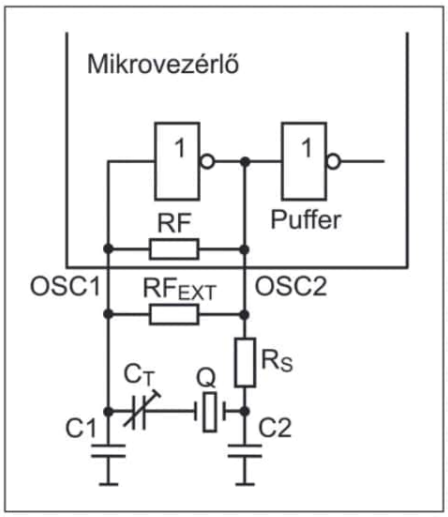
A kvarcoszcillátor szinusz alakú kimenőjelet szolgáltat. Általában egy pufferfokozatot kapcsolnak a kimenetére, ami meggátolja, hogy a következő áramkörök befolyásolják az oszcillátor működését. Ha az oszcillátor jelét digitális áramkörökben használják fel, a puffer jelformálást, négyszögesítést is végez. A rezgőkvarc tulajdonságait a geometriai méretei és a kristálytengelyekhez viszonyított metszési síkja határozza meg. Mivel a kvarc méretei csak kis mértékben változnak a hőmérsékletváltozások hatására, a kvarcoszcillátorok frekvenciája jelentős melegedés, hűtés esetén is csak kis mértékben tért el a szobahőmérsékleten mérhető értéktől (az LC oszcillátorokkal összehasonlítva). A frekvenciastabilitás 10^{-5}…10^{-6} értéke (10…1 ppm) miatt a fejlesztők úgy beszéltek ezekről a rezgéskeltőkről, hogy *szinte hőfokfüggetlen* a frekvenciájuk… Pedig ezek csak az alapáramkörök, a hőfokfüggést tovább csökkentő megoldásokat csak később kezdték kifejleszteni.

A kvarckristállyal sorba kapcsolt trimmerrel kis mértékben elhangolható az oszcillátor. Igaz, hogy emiatt megváltozik a stabilitása, a hőfokfüggése is, ezért legalább néhány pF-os kondenzátorokat alkalmaznak ilyen célra. A bemutatott Pierce-oszcillátornál fel is tüntettük a frekvencia módosítására használható trimmerkondenzátort (C_T).

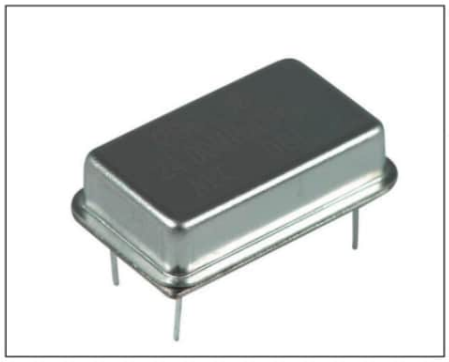
Az elektronikai berendezésekben akkor használnak kristályoszcillátort, ha nagy pontosságú, állandó frekvenciájú jelsorozatra van szükség. A korai alkalmazásokban, pl. a rádióadókban, az elektronikai berendezésben alakították ki a kvarcoszcillátort is, a mikrovezérlőkhöz, mint láttuk, külső elemként kell hozzákapcsolni a kvarcot. A mikroprocesszoros berendezések elterjedével tömegessé vált a kész, gyárilag előállított kvarcoszcillátorok iránti igény, ezért önálló, integrált kivitelű, tokozott alkatrészként kezdték gyártani (**9. ábra**). Ma már számos gyártó kínál kvarcoszcillátorokat, nemcsak a hagyományos fémtokban, hanem akár SMD kivitelben is (**10. ábra**). A továbbiakban azt vizsgáljuk majd, hogyan alakul ezeknek a tokozott kvarcoszcillátoroknak a hőfokfüggése, milyen megoldásokkal igyekeznek a fejlesztők megközelíteni a hőfokfüggetlen működést.

A kvarcoszcillátorok hőfokfüggése

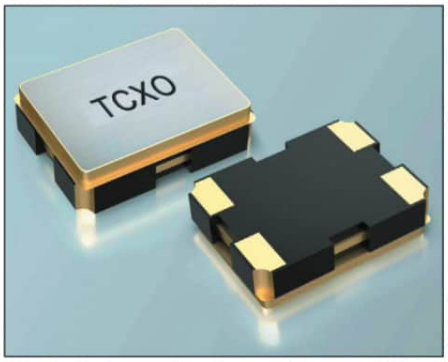
A kvarcoszcillátor frekvenciáját, annak hőfokfüggését a kristály minősége határozza meg. Alacsony frekvenciákra (5…200 kHz) általában a már megismert hangvilla alakú kvarckristályt



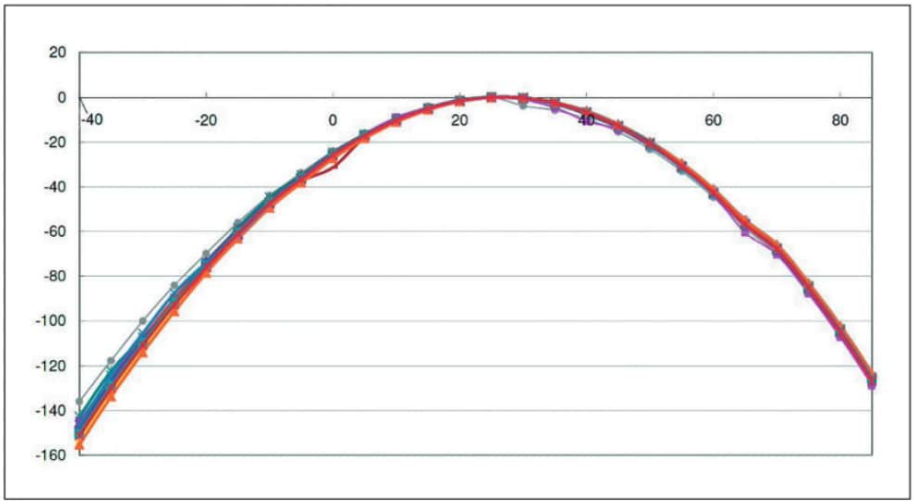
8. ábra



9. ábra

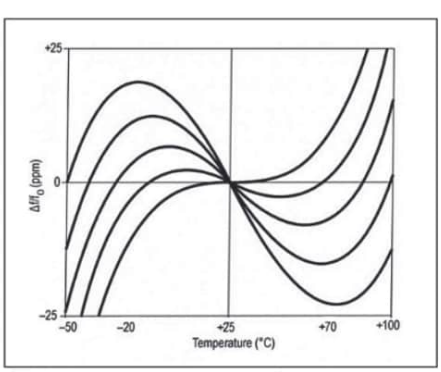


10. ábra



11. ábra

alkalmazzák. Ez a kivitel olcsó, tömeggyártásra alkalmas. A kvarckristályból X metszésű lapokat vágnak ki, ezeken egymás mellett nagyszámú hangvilla-kvarc fémezési mintázatot hoznak létre, a mikroelektronikából ismert litográfiás lépésekkel. A lézersugaras alakformálás és feldarabolás után az egyes hangvilla-kristályokat lézersugárral finoman behangolják a kívánt frekvenciára. Ha diszkrét áramköri elemként kívánják forgalmazni (pl. az óragyártók számára), akkor hengeres fémtokba zárják. -10…+50 °C között változó környezeti hőmérséklet hatására a frekvencia változása ±30 ppm. Egyes gyártók ajánlatában szerepelnek -40…+85 °C tartományban ±10 ppm frekvenciastabilitást ígérő típusok is, ezeknek azonban igen magas az áruk, mivel többszörös tesztelés, válogatás eredményei. A hangvilla alakú kvarckristályok hőmérséklet-frekvenciaváltozás diagramja egyszerű másodfokú parabola (**11. ábra**). A vízszintes tengelyen a hőmérséklet értékei szerepelnek °C-ban, a függőleges tengelyen a frekvenciaváltozás (Δf/f) szerepel, ppm értékekben (ez a további hőmérséklet-frekvenciaváltozás diagramoknál is így lesz). A parabola csúcspontja kb. 25 °C-nál van.

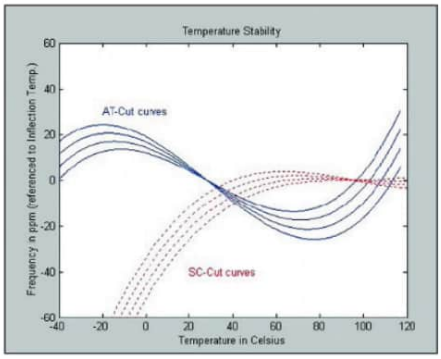


12. ábra

Az elektronikai alkalmazások többségében nagyobb frekvenciák előállítására AT metszésű kvarckristályokat használnak, ezek elméletileg a 0,5…3000 MHz tartományban rezeghetnek. Korong vagy kis magasságú négyzetes oszlop alakban állítják elő az AT kristályokat, viszonylag olcsón. Mindenesetre a kristálytengelyekhez viszonyított metszési síkot rendkívül pontosan kell betartani, már egészen kis eltérés esetén is jelentősen megváltoznak a kvarckristály tulajdonságai. Az AT vágású kristályok hőmérséklet-frekvenciaváltozás diagramja az inflexiós pont környezetében harmadfokú görbe, az inflexiós pont 20 °C közelében van (**12. ábra**). A görbék a metszési szög néhány fokperces eltérésre vonatkoznak, látható a vágási szög jelentősége. A szögeltérés hibája az inflexiós pont közelében a legkisebb, ezért is előnyös az AT metszésű lapkák használata.

Egy további, népszerű rezgőkvarc változat az SC metszésű kristály. Ennek elméleti frekvenciatartománya szélesebb, 0,5…3200 MHz. A gyártása körülményesebb, így költségesebb is, viszont kevésbé öregszik, mint az AT metszésű. Az SC kristállyal épített oszcillátor kisebb fogyasztású, ami sok alkalmazásnál lényeges előnyt jelent. A **13. ábrán** lehet összehasonlítani az AT és az SC metszésű kristályok hőfokfüggését. Feltűnő különbség van az inflexiós pont elhelyezkedésében, emiatt szobahőmérsékleten az SC metszésű kvarcok érzékenysége a metszési szögre nagyobb, mint az AT változatoké.

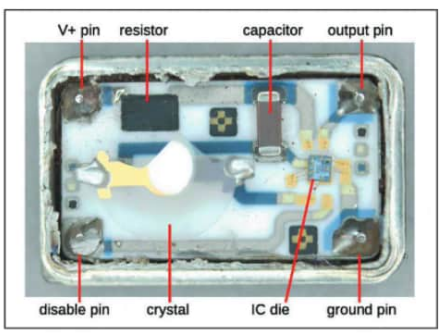
Mint már említettük, az integrált kivitelű kvarcoszcillátorokat hagyo-



13. ábra

mányosan JCO14 fémtokozásba helyezik. Ez kellő védelmet biztosít, azonkívül árnyékoló hatása is van, s mivel légmentesen lezárják, védőgázzal is feltölthető. Egy DIL14 jellegű IC tok lábkiosztása szerintiek a kivezetések, de csak az *1.*, a *7.*, a *8.* és a *14. lábat* alakítják ki. Egy a *GND* csatlakozópontja, egy a tápfeszültségé, egy az oszcillátor kimenete, egyet pedig egyéb célokra lehet felhasználni (pl. az oszcillátor leállítására vagy a frekvencia külső vezérlésére).

A modern oszcillátorok szerkezete a **14. ábra** szerinti [1]. Az ellenállás és a kondenzátor a tápfeszültség szűrésére szolgál, és védi az oszcillátorcsipet. A kvarckristály általában AT metszésű lapos korong. A csip tartalmazza a tápfeszültség-kezelő áramkört, az oszcillátort, a frekvenciaosztót és a kimeneti fokozatot, később pedig a hőmérsékletfüggést csökkentő további áramköri részleteket. A magasabb frekvenciákon már nagyon vékony lapkákat kell a kristályból kihasítani, ezek előállítása, kezelése, beépítése gondot jelent, ezért 50 MHz feletti kvarckristályokat nem is gyártanak. Ha az oszcillátor megkívánt kimeneti frekvenciája magasabb, mint a kristályé, felhang-oszcillátort alakítanak ki, vagy PLL áramkör segítségével állítják elő a kimeneti értéket, ilyenkor ezeket is beintegrálják a csipbe. A képen a kerek kvarclapka törött, hogy a mögötte levő struktúra



14. ábra

jobban látszódjon. Korábban tranzisztoros Pierce-oszcillátor és tranzisztoros elválasztó fokozat helyezkedett el a vastagréteg lapkán (*RT 1996/1.*)

Ha az elektronika csak az oszcillátort valósítja meg, minden kiegészítő vezérlő lehetőség vagy hőmérsékletváltozás hatását csökkentő részlet nélkül, akkor az oszcillátor frekvenciapontossága megegyezik a beépített kristályéval. Az ilyen „csupasz" oszcillátor betűjele XO (kvarcoszcillátor). A sok gyártott változat közül alább felsoroljuk a gyakoribbakat.

– ATCXO (Analog Temperature Compensated Crystal Oscillator, analóg hőmérsékletkompenzált kvarcoszcillátor),

– DCXO (Digitally Compensated Crystal Oscillator, digitálisan kompenzált kvarcoszcillátor),

– DTCXO (Digital Temperature Compensated Crystal Oscillator, digitálisan hőmérsékletkompenzált kvarcoszcillátor),

– EMXO (Evacuated Miniature Crystal Oscillator, kiürített miniatűr kvarcoszcillátor),

– GPSDO (Global Positioning System Disciplined Oscillator GPS-sel felügyelt kvarcoszcillátor),

– MCXO (Microcomputer-compensated Crystal oscillator, mikroszámítógéppel kompenzált kvarcoszcillátor),

– MTCXO (Mathematically Temperature Compensated Crystal Oscillator, matematikailag hőmérsékletkompenzált kvarcoszcillátor),

– OCVCXO (Oven Compensated Voltage Controlled Crystal Oscillator, kályhával hőmérsékletkompenzált, feszültséggel vezérelt kvarcoszcillátor),

– OCXO (Oven Controlled Crystal Oscillator, kályhával hőmérsékletkompenzált kvarcoszcillátor)

– RbXO (Rubidium Crystal Oscillator, rubídiumoszcillátor),

– TCVCXO (Temperature Compensated Voltage Controlled Crystal Oscillator, hőmérsékletkompenzált feszültségvezérelt kvarcoszcillátor),

– TCXO (Temperature Compensated Crystal Oscillator, hőmérsékletkompenzált kvarcoszcillátor), a hőmérsékletkompenzált kvarcoszcillátorok általános megjelölése,

– TMXO (Tactical Miniature Crystal Oscillator, taktikai miniatűr kvarcoszcillátor),

– TSXO (Temperature Sensing Crystal Oscillator, hőmérsékletérzékelő kvarcoszcillátor),

– VCTCXO (Voltage Controlled Temperature Compensated Crystal Oscillator feszültségvezérelt hőmérsékletkompenzált kvarcoszcillátor,

– VCXO (Voltage Controlled Crystal oscillator feszültségvezérelt kvarcoszcillátor),

– XO (Crystal Oscillator, kvarcoszcillátor), további szokásos jelölése SPXO (Simple Packaged Crystal Oscillator), egyszerű tokozott kvarcoszcillátor.

A felsorolt változatokban alkalmazott alapvető megoldásokat a következőkben be fogjuk mutatni. Vannak olyan típusok, amelyekről csak egy tömör, egymondatos leírást sikerült fellelni, másoknál a belső kialakítás, felépítés több részletét is ismertetik a gyártók. Sajnos, általában nem közlik az oszcillátorok részletes, teljes kapcsolási rajzát, legfeljebb elvi vázlatokat mutatnak be. Így a következőkben az egyes megoldásoknál, ahol kapcsolási rajzokat is tudunk mutatni, ezek csak elvi kapcsolások, inkább a működés jellegét szemléltetik. Reméljük, hogy a felsorolt hiányosságok ellenére is segítenek a következő leírások a típusok megismerésében.

Sajátos módon a kvarckristályok hőfokfüggését hasznosítani is lehet. Különleges vágási szögű kristállyal lineáris hőmérséklet-frekvencia kapcsolatot lehet elérni egy jól megválasztott hőmérséklet-tartományban. A hőmérséklet mérése egy egyszerű impulzusszámlálásra vezethető így vissza. A kvarc hőmérséklet-érzékelővel felépített oszcillátor (TSXO, Temperature Sensing Crystal Oscillator, hőmérsékletérzékelő kvarcoszcillátor) kimenőjele általában impulzus-sorozat, így közvetlenül számlálóra vezethető. (Így működött az elsőként felbocsátani szándékozott amerikai műhold, a Vanguard-1 két, néhány milliwattos, 108 MHz-es kvarcvezérelt adója, ill. a TV-sorozat többi tagjáé is, melyeknek frekvenciája a holdacska műszerrekeszének, ill. burkolatának hőmérsékletétől közel lineárisan függött; *Rádiótechnika Évkönyve 2017.*)

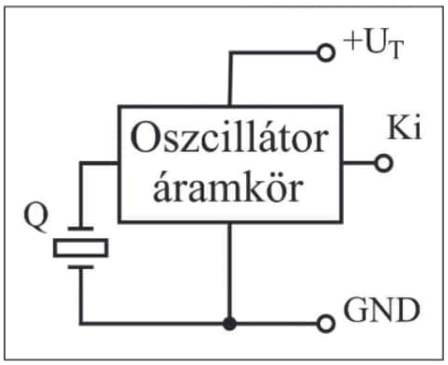
A Hewlett-Packard olyan kristályt állított elő, hogy az azzal megépített elektronikus hőmérő a 0…100 °C tartományban 0,0001 °C-os felbontást tudott megvalósítani! Bár a HP 2804A kvarckristályos hőmérő műszer gyártása megszűnt, a kvarckristályok előállításával foglalkozó cégek továbbra is ajánlanak lineáris hőmérsékletfüggésű kvarcokat, mérőműszerek és különleges oszcillátorok készítéséhez. A Statek cég TS sorozatú miniatűr kvarc hőmérsékletszenzorai hangvilla alakú rezgőkvarcok, 172 000 Hz és 262 144 Hz bázisfrekvenciával, közel lineáris karakterisztikával -45 °C –tól +85 °C-ig. A linearitás értéke 200 ppm…1000 ppm közötti lehet, megrendeléskor kell megadni a vevő igényét.

A mikroelektronika fejlődésével már nemcsak lineáris hőmérsékletfüggésű kristállyal lehet hőmérsékletet mérni, hiszen egy mikrovezérlővel a frekvenciaváltozásból nemlineáris kapcsolat esetén is kiszámítható a hőmérséklet értéke. Ezeket a megoldásokat, mint később látni fogjuk, a tokozott kvarcoszcillátoroknál is fel lehet használni a frekvenciafüggés csökkentésére.

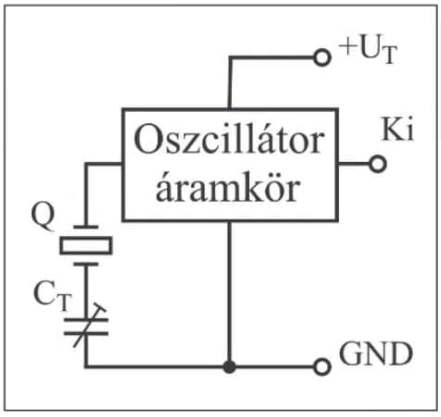
Feszültséggel hangolható kristályoszcillátorok (VCXO)

A hőfokkompenzált oszcillátorok bemutatása előtt érdemes a feszültséggel hangolható típusokról szólni. Egyrészt azért, mert ezek a gyártásban levő oszcillátorok fontos csoportját alkotják (VCXO), másrészt azért, mert az ezekben alkalmazott megoldások jelentős szerepet kapnak egyes hőmérsékletkompenzált oszcillátorokban is.

Az Epson jelenleg az egyik legnagyobb kvarcoszcillátor-gyártó. Honlapján olyan technikai információkat is találunk, melyekben egyes áramköri megoldások elvi kialakítását is elárulják. Így a feszültséggel hangolható kvarcoszcillátorokról is közölnek elvi kapcsolási rajzokat. Megoldásukban olyan kvarcoszcillátorból indultak ki, melynél a kristály egyik csatlakozója a *GND*-re van kötve (**15. ábra**). Ilyen pl. a már korábban megismert Colpitts-oszcillátor. Már tudjuk, hogy egy trimmerkondenzátor segítségével kismértékben elhangolható az oszcillátor



15. ábra

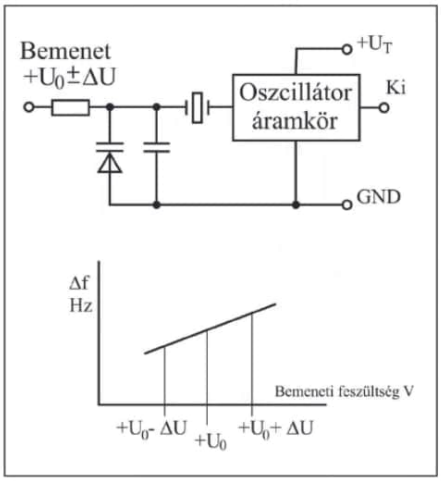


16. ábra

(**16. ábra**). Ez az elrendezés az alapja a feszültséggel hangolható kapcsolásoknak, a trimmer helyére varikap dióda (feszültséggel változtatható kapacitású dióda) kerül, s erre vezetik a vezérlőfeszültséget.

Az egyik lehetséges megoldás elvét a **17. ábra** mutatja be. Ennél a kapcsolásnál az oszcillátor névleges frekvenciáját egy pontosan meghatározott bemeneti vezérlőfeszültség, U_0 alkalmazásakor állítja elő az áramkör. Növekvő vezérlőfeszültség hatására a frekvencia is nő, kisebb feszültséggel alacsonyabb frekvenciát lehet elérni. A működési karakterisztika jellege is látható az ábrán. Ezt a megoldást pozitív meredekségű, feszültséggel vezérelt kvarcoszcillátornak nevezi az Epson.

A cég a negatív meredekségű, feszültséggel vezérelt kristályoszcillátoraiban a **18. ábrán** látható elvi elrendezést alkalmazza. A diagramon látható, hogy itt a 0 vezérlőfeszültség hatására működik az oszcillátor a névleges frekvenciáján, pozitív vezérlőfeszültség hatására csökken a frekvencia, míg negatív vezérlőfeszültségnél a frekvencia nő.



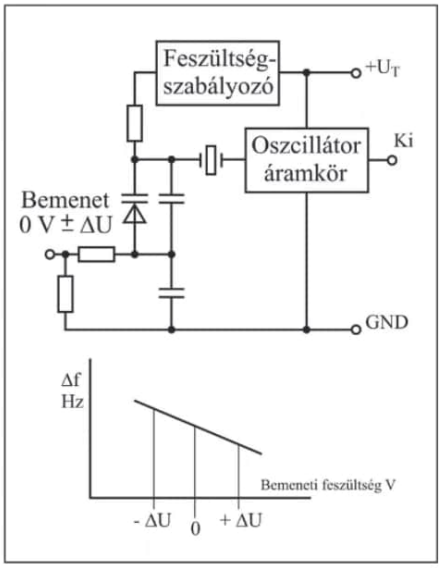
17. ábra

Ebben a csoportban az oszcillátorok hőfokfüggése megegyezik a beépített kvarcéval, semmilyen kiegészítő kompenzáló megoldást nem tartalmaznak (akár az XO változatok). Példaként bemutatjuk az Epson egyik új, rendkívül kis méretű VCXO áramkörét, a VG4513CB-t, amit 100…250 MHz közötti frekvenciával szállítanak. A katalógus szerint a kisebb frekvenciás változatok (100 MHz-ig) összesített frekvenciaeltolódása ±50 ppm, a magasabb frekvenciás áramköröké ±70 ppm. Ez magasabb, mint amit a kristályok ismertetésekor láttunk, ennek az az oka, hogy az összesített eltérésben a hőmérséklet-változások (-40…+85 °C) hatásán kívül a gyártási szórás, a tápfeszültség-változás (+3,3 ±0,165 V) és 10 éves öregedés hatása is benne van. A névleges frekvenciától a sorozat tagjai háromféle mértékben hangolhatóak el (±30 ppm, ±50 ppm és ±100 ppm mértékben). A vezérlőfeszültség tartománya: 0,3…0,7 U_{CC} (ez azt valószínűsíti, hogy az oszcillátor pozitív meredekségű). Az áramkör hat kivezetésű SMD tokban készül, ennek mérete: 3,2×5×1,3 mm. A tápfeszültség csatlakozópontjai mellett ponált és negált kimenettel rendelkezik, valamint a vezérlőjel bemenetével és a működést tiltó/engedélyező (*OE*) bemenettel.

Hőmérsékletkompenzált kristályoszcillátor (TCXO)

Ezt a csoportot azok az oszcillátorok alkotják, melyekben a hőmérsékletkompenzációt úgy valósítják meg, hogy a hőmérsékletváltozás mértékétől (és irányától) függően elhangolják (pontosabban visszahangolják) az oszcillátort, igyekezve a szobahőmérsékleten előállított rezgésszámot megtartani. A hőmérséklet változását érzékelőkkel mérik, a kapott jel segítségével módosítják az oszcillátor frekvenciáját. A tömeggyártásnak és a lehetőleg alacsony költségeknek a legegyszerűbb hőfokérzékelő, a termisztor felel meg. Ennek további előnye is van, mert a vezérlőfeszültséget ezek segítségével közvetlenül elő lehet állítani. Ezek az oszcillátorok az analóg hőmérsékletkompenzált kvarcoszcillátorok (ATCXO) kisebb igényeket kielégítő, olcsóbb csoportját alkotják.

A termisztor olyan félvezetőeszköz, melynek ellenállása a hőmérséklettel változik. Készíthető pozitív (PTC) és negatív (NTC) karakterisztikájú termisztor is. A karakterisztika

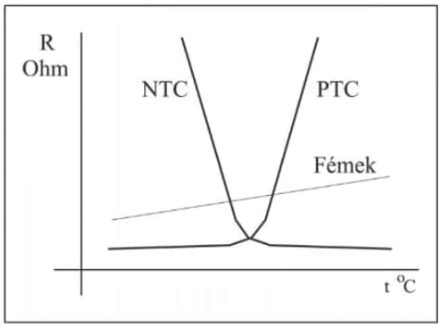


18. ábra

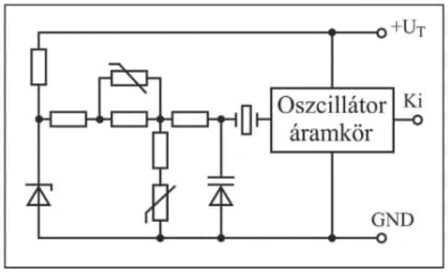
pontos menete függ az alkalmazott félvezető anyagtól és a gyártási eljárástól. Az oszcillátorokban olyan változatokat alkalmaznak, melyeknél a karakterisztika alakja a diódáéra emlékeztet, ezeket jól fel lehet használni hőmérséklettel működő kapcsolóként (**19. ábra**). Az Epson a TCXO áramköröket két csoportra osztja, az indirekt és a direkt kompenzációs változatokra.

Az indirekt kompenzációban szerepel egy varikap az oszcillátor áramkörében, a termisztorok a hurkon kívül vannak. A feszültségvezérelt kvarcoszcillátoroknál alkalmazott megoldásokkal lehet megalkotni ezt az indirekt kompenzációt: a termisztorok segítségével előállított hőfokfüggő vezérlőfeszültséget a kristállyal sorba kötött varikapra vezetik. Jól megválasztott elemértékek esetén közel vízszintes hőmérséklet/frekvencia karakterisztika érhető így el. Az Epson elvi kapcsolása a **20. ábrán** látható.

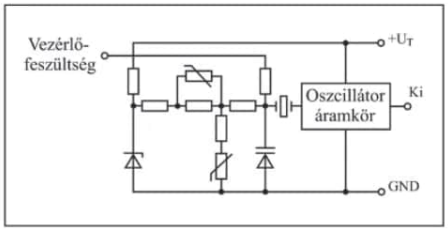
Ezt a kapcsolást csak egy bemeneti csatlakozással kell kiegészíteni, és megkapjuk a feszültségvezérelt, hőmérsékletkompenzált kvarcoszcillátort



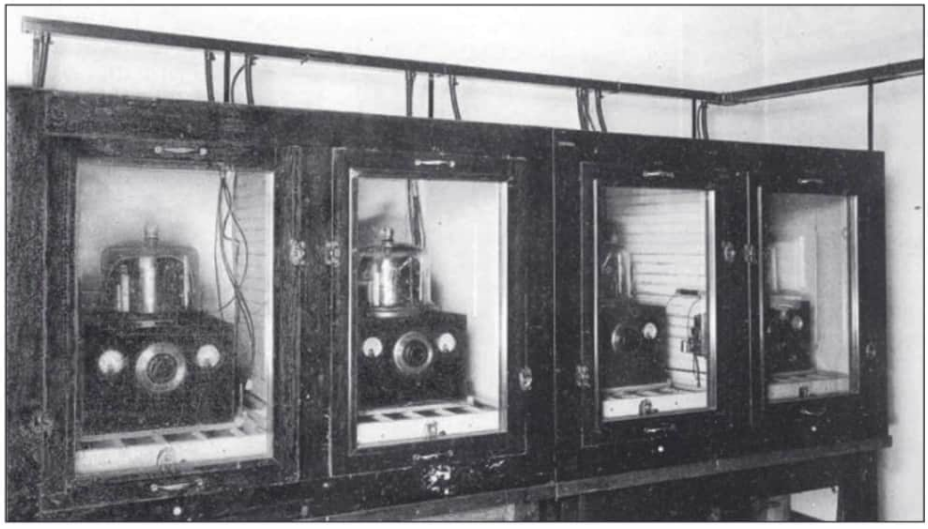
19. ábra



20. ábra



21. ábra



23. ábra

(**21. ábra**). Ezt az oszcillátort a VCTCXO betűszóval jelölik, de sokszor TCVCXO-nak hívják.

A direkt kompenzálású kvarcoszcillátorok esetében a termisztorok az oszcillátort alkotó hurkon belül jelennek meg, közvetlenül befolyásolva a frekvenciát, varikap nincs az áramkörben. Az Epson által alkalmazott megoldás a **22.a ábrán** látható, egy másik, elterjedt kapcsolási lehetőség elvét a **22.b ábra** mutatja be. A termisztorok kapcsolóként működnek, alacsony hőmérsékleten az egyik kiegészítő kondenzátor kapcsolódik be az oszcillációs hurokba, magasabb hőmérsékleten a másik.

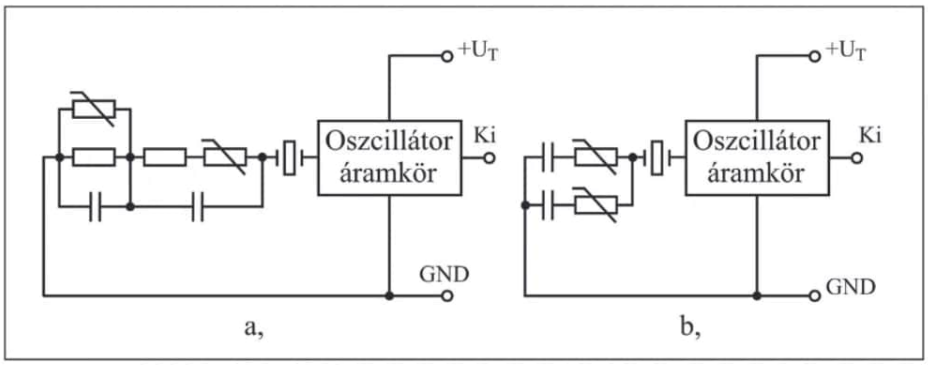
A bemutatott hőmérsékletkompenzált oszcillátorok (TCXO, VCTCXO) a lehető legegyszerűbb kapcsolásokkal készülnek, mégis sokkal jobb a frekvenciastabilitásuk, mint az egyszerű XO és VCXO változatoknak. Ugyanakkor az, hogy az oszcillátorhoz kiegészítő alkatrészeket kell csatolni, növeli a méreteket és költségesebbé teszi a gyártást. Itt is egy Epson termék szerepeljen példaként: a TG2520SMN nagy stabilitású, kis zajú TCXO/VCTCXO oszcillátor SMD tokozású áramkör. Megrendeléskor lehet megadni, hogy feszültségvezérelhető vagy anélküli változatra van szüksége a vevőnek. A sorozat 10…85 MHz közötti frekvenciákat állít elő, a választható tápfeszültség lehet 1,8; 2,8; 3,0 vagy 3,3 V. Szintén megrendeléskor lehet a frekvencia hőmérsékletfüggésének mértékét megadni, - 40…+85 °C között 0,5 ppm vagy 2,0 ppm választható! A négy kivezetéses tok 2×2,5×0,8 mm méretű, vezérlés nélkül a negyedik csatlakozó N.C. jellegű. A VCTCXO változat esetén a vezérlési tartományt is megrendeléskor lehet előírni, ez ±8,0 ppm vagy ±12 ppm lehet.

Kristálykályha alkalmazása

Viszonylag hamar felvetődött az az ötlet, hogy a környezeti hőmérséklet változásai miatt melegedő, lehűlő kvarckristály frekvenciájának korrigálása helyett egyszerűbb, és várhatóan hatékonyabb megoldás lenne az, ha a kristályt rögzített hőmérsékleten tartanák. Így állandó hőmérsékleten, állandó rezonanciafrekvenciával üzemelhetne.

Az ötlet felvetődését kísérletek, fejlesztések követték, a kvarckristályt állandó (magas) hőmérsékletre melegítették, és valóban jóval stabilabb frekvenciát értek el. A nagy pontosságú új oszcillátorok gyorsan terjedtek. 1929-ben az USA Szabványügyi Hivatalában (US Bureau of Standards) a 100 kHz-es etalon kvarcoszcillátorok frekvenciájának hőfokfüggését kristálykályhák biztosították (**23. ábra**), az oszcillátorokat egyenként, egy-egy vitrinben helyezték el [2]. Néhány év múlva már a hordozható rádiókészülékek számára „miniatűr" kivitelű, csőfoglalatba dugható kristálykályhák is készültek, ilyen volt pl. a James Knight Co. **24. ábrán** látható terméke [3].

A tokozott, integrált kivitelű kvarcoszcillátorok gyártói is alkalmazzák ezt a kompenzációs megoldást, a kristálykályhákat egyre kisebb méretben



22. ábra

24. ábra

állítva elő. A beépített kristálykályhával működő kvarcoszcillátorok is hőmérsékletkompenzáltak, mégis önálló csoportot alkotnak. A TCXO csoportba nem is értik bele ezeket, önálló megnevezésük van: OCXO. Az angol elnevezésnek (OCXO, Oven Controlled Crystal Oscillator) megfelelően kályhavezérelt kristályoszcillátor néven szerepelnek a hazai szakirodalomban. Ezek az oszcillátorok az analóg hőmérsékletkompenzált kvarcoszcillátorok (ATCXO) nagyobb stabilitási igényeket kielégítő csoportját alkotják.

Az OCXO tokozásán belül helyezkedik el a kisméretű kristálykályha. Ez a zárt tartály tartalmazza a fűtőelemet, a hőérzékelőt és a kvarckristályt, de sok esetben további elektronikai elemeket is, akár a teljes oszcillátort. Ennek az a magyarázata, hogy minden elektromos alkatrész mutat hőfokfüggést, ha a teljes kapcsolás állandó hőmérsékleten működik, jobb a frekvenciastabilitás (igaz, nagyobbak a méretek, és nagyobb a fogyasztás is). Egy önálló szabályozókör gondoskodik a hőfokérzékelő és a fűtőelem segítségével a kristálykályha belsejében az állandó hőmérsékletről. A fűtésszabályozó áramkör többnyire igen egyszerű, analóg, lineáris megoldás, termisztorból és fűtőelemből áll. Esetenként azonban összetettebb szabályozó megoldást alkalmaznak a gyártók. A fűtőelem az egyre kisebb méretű OCXO-kban többnyire tranzisztor. A direkt fűtésű rezonátor (DHR) esetén a fűtőelem közvetlenül a kristályt melegíti, gyors felmelegedést, rövid indulási időt, kis fűtőteljesítményigényt eredményezve. Az egyszerűbben kivitelezhető indirekt megoldás (IDHR) esetében a zárt hőkamra falára kerül a fűtőelem, egyenletesebb a belső tér melegedése, de hosszabb lesz az indulási idő, nagyobb a fogyasztás.

A kristálykályhával előállított állandó hőmérséklet értéke minden esetben az OCXO üzemeltetése közben megengedett legnagyobb külső hőmérséklet feletti értékű. Bekapcsolás után el kell telnie egy időnek, míg a kályha belseje felveszi ezt a hőmérsékletet, így ennek az oszcillátornak elég hosszú a bekapcsolási, indulási ideje. A kristálykályha felmelegedési ideje függ a fűtőelemtől, a kályha méreteitől, a szabályozókörtől, akár 10…15 min is lehet. A kristály bemelegedése további időt igényel, a végleges frekvencia megjelenésére esetenként 30 percet is kell várni a bekapcsolás után. Vannak különleges, gyors bemelegítést biztosító megoldások, melyekkel 5 min alá csökkenthető ez az idő.

A kályha belsejében általában 75 °C hőmérsékletet állítanak be, de vannak magasabb hőmérsékleten működő változatok is. A magasabb hőmérséklet nagyobb pontosságot biztosít, viszont gyorsítja a kristály öregedését. A kvarckristály metszetét úgy kell megválasztani, hogy a kályhában tartott hőmérsékletérték közelében lehetőleg kicsi – optimális esetben $\Delta f/f = 0$ – legyen a frekvenciaváltozása.

A legelső OCXO változatok jelentős nagyságú fűtési teljesítményt igényeltek, a méreteik is nagyok voltak. Ezeket emiatt nem is szívesen alkalmazták elemes, akkumulátoros készülékekben. Mára már a helyzet alaposan megváltozott. Ugyanakkor a kristálykályhás oszcillátorok rövid idejű frekvenciapontossága 0,001 ppb, a hosszú idejű, pl. éves érték is csak 10 ppb körüli. Nem elírás, itt valóban ppb értékek szerepelnek! Igaz viszont, hogy az összetettebb szerkezet miatt az OCXO magasabb árú oszcillátor, mint a már korábban megismert hőfokkompenzált típusok.

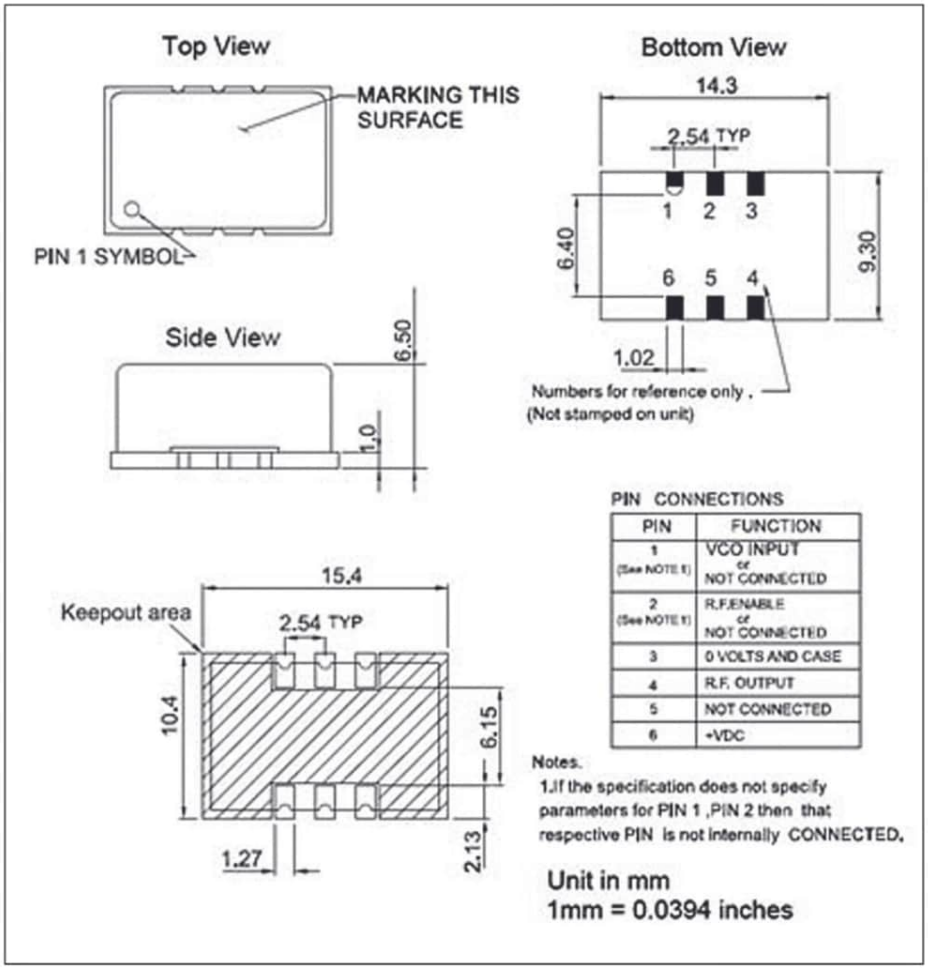
Az alacsonyabb árú, tömegtermeléssel gyártott OCXO-knál jobb stabilitást mutatnak azok az oszcillátorok, amelyeknél a beépített kvarckristály egyedi jellemzőihez finoman hozzáhangolják a fűtőkört. Vannak feszültségvezérelt oszcillátort tartalmazó típusok is, ahol az alkalmazásban is lehet korrigálni a működési frekvenciát. Egyes típusok ilyen megoldással tudják a kvarc öregedését ellensúlyozni. Az öregedési hajlamot az is növeli, ha a kályhavezérlésű oszcillátort sűrűn ki-, majd bekapcsolják, sokkal hosszabb ideig lesz pontos működésű, ha folyamatosan üzemel.

A frekvencia stabilitását tovább lehet növelni, ha két egymásba épített kályhát alkalmaznak, ez a kristálykályhás oszcillátorok legfrissebb fejlesztési útja. A nagyobbik egy gyors működésű, olcsó megoldású hőfok-stabilizátor, ennek a belsejében helyezkedik el a belső finomabb, pontosabb hőmérséklet-szabályozó egység. Utóbbiban van a kvarckristály. A kettős kályha-vezérelt kvarcoszcillátor (Double Oven Controlled Crystal Oscillator, DOCXO) azért született meg, mert az OCXO-ban levő kristálykemence belső hőmérsékletének ingadozásait egy bizonyos érték alá már nem lehetett csökkenteni. A második, belülre helyezett kályha viszont nagyságrendekkel javít a helyzeten!

A DOCXO „belső” kristálykályhája eleinte csak a kvarckristályt tartalmazta, vagy direkt melegítéssel, vagy a kályha burkolatának hevítésével. Később olyan változatot is kifejlesztettek, amelyben a kvarcot, a ráerősített fűtőelemet, az oszcillátor elektronikáját, a hőmérsékletszabályozáshoz szükséges termisztort egy TO-8 fémtokkal zárták le, ennek a belsejében vákuumot alakítottak ki (EMXO, Evacuated Miniature Crystal Oscillator, kiürített miniatűr kvarc-oszcillátor, ezt önállóan is szállítják a gyártók, nem csak DOCXO-ba beépítve). Ez képezte a belső, finomabb hőfokszabályozó rendszert, ezt vette körül egy külső fémburok, a másik kristálykályha. Ez a megoldás a hőmérsékletstabilitást nem növelte, de csökkentette a teljesítményigényt (tipikusan 0,8 W-ra), és kisebb méreteket tett lehetővé.

Ebbe a csoportba tartozik a TMXO, a Tactical Miniature Crystal Oscillator, azaz taktikai miniatűr kristályoszcillátor is. Ezt a típust katonai alkalmazásokra fejlesztették ki, hadászati taktikai és katonai információs rendszerek számára, felépítésének a részletei ennek megfelelően nem nyilvánosak. Olyan kristálykályha-vezérelt kvarcoszcillátor ez, melynél a kis méret, a kis fogyasztás és a gyors felfűtés volt az alapvető követelmény, az OCXO oszcillátoroknál megszokott frekvenciastabilitás mellett.

Két kisméretű, kis fogyasztású OCXO bemutatásával szeretnénk igazolni ennek az oszcillátortípusnak a hatékonyságát. Első példánk a Vectron International gyártmánya, a DX-040 OCXO sorozat. A fémtokozással készülő oszcillátorokat 4…15 MHz frekvenciatartományban lehet megrendelni. A teljes környezeti hőmérséklet-tartományban mutatkozó frekvencia-változás mértéke 0,89 ppb. Az alaptípus 12 V tápfeszültségről működik, de rendelhető 5 V-os kivitel is. A felmelegedés időszakában az oszcillátor fogyasztása 12 W, tartós üzemben (25 °C környezeti hőmérsékleten) a teljesítményfelvétel csak 4 W. A HCMOS kimenetű változat négyszögjeleket állít elő, de rendelhető szinuszos kimenetű oszcillátorként is. Vezérlőfeszültséggel hangolható az oszcillátor, 0,75 ppm mértékben, a vezérlőfeszültség 0…+5 V közötti. A tokozás mérete: 41×51 mm alapterületű, a tok magassága 17,27 mm, 19 mm, 25,4 mm vagy 38,07 mm lehet.



25. ábra

A Rakon Ltd. SMD kivitelben ajánl kristálykályhás oszcillátorokat, egyik figyelemre méltó termékük a ROM1490E, megjelenésekor, 2019-ben ez volt a legkisebb OCXO oszcillátor. Az oszcillátort 10…50 MHz frekvenciaértékkekkel lehet megrendelni. A felmelegedés névleges időtartama 15 s, hosszú idejű frekvenciastabilitása az első évben 1 ppb (akár -40…+85 °C hőmérsékletváltozások esetén is), 20 év után 2,5 ppb. A tápfeszültség 2,7…5 V között jelölhető meg. Az indulási teljesítményfelvétele 1,2 W, folyamatos üzemben 25 °C külső hőmérsékleten) 0,4 W a fogyasztása. Az oszcillátor egy apró nyáklapkára ültetett eszköz, az elektronikát fémtok védi. A méreteket a **25. ábrán** mutatjuk be. A fémtok aranynyal bevont nikkel lemezből készül.

A DOCXO oszcillátorok valamivel nagyobb méretűek, drágábbak, de még jobb a frekvenciastabilitásuk. Ilyen oszcillátorok alkotják a KVG Quartz Crystal Technology GmbH O-35 sorozatát (**26. ábra**). A 30×41 mm alapterületű, 22 mm magas eszközt alulról egy kis nyáklap zárja le, ennek peremén képezték ki a hét SMT csatlakozót. Az RF kimeneten, a *GND* és a tápfeszültség pontokon kívül egy kimenő referenciafeszültség (+2,8 V) és egy frekvenciavezérlő bemeneti feszültség is szerepel a csatlakozópontok között, valamint két N.C. jellegű is. Megrendelhető az áramkör bemenő vezérlőjel nélkül is, ekkor a megfelelő csatlakozó is N.C. jelleggel kezelendő.

Az oszcillátor frekvenciája 10 MHz, 10 évre vonatkozó hosszú idejű frekvenciastabilitása 0,1 ppm. Ha feszültségvezérelt típust rendel a vevő (VCOCXO), a bemenőjel 0…+2,8 V közötti lehet (U_0 = +1,4 V), az elhangolás mértéke 0,35 ppm lehet, mindkét irányban (a vezérlés pozitív meredekségű). A tápfeszültség három értékből választható: +3,3, +5, +12 V. A tápáram-értékeket a **2. táblázat** mutatja be. A szobahőmérsékleten bekapcsolt oszcillátor felfűtési ideje 5 min. Az oszcillátor négyszöghullám jellegű digitális kimenőjelet szolgáltat, HCMOS ellenütemű kimeneti fokozattal.

	Tápfeszültség, V		
	3,3	5,0	12
Felfűtés alatt, A	2,5	1,75	0,8
Normál üzemben, mA	750	500	200

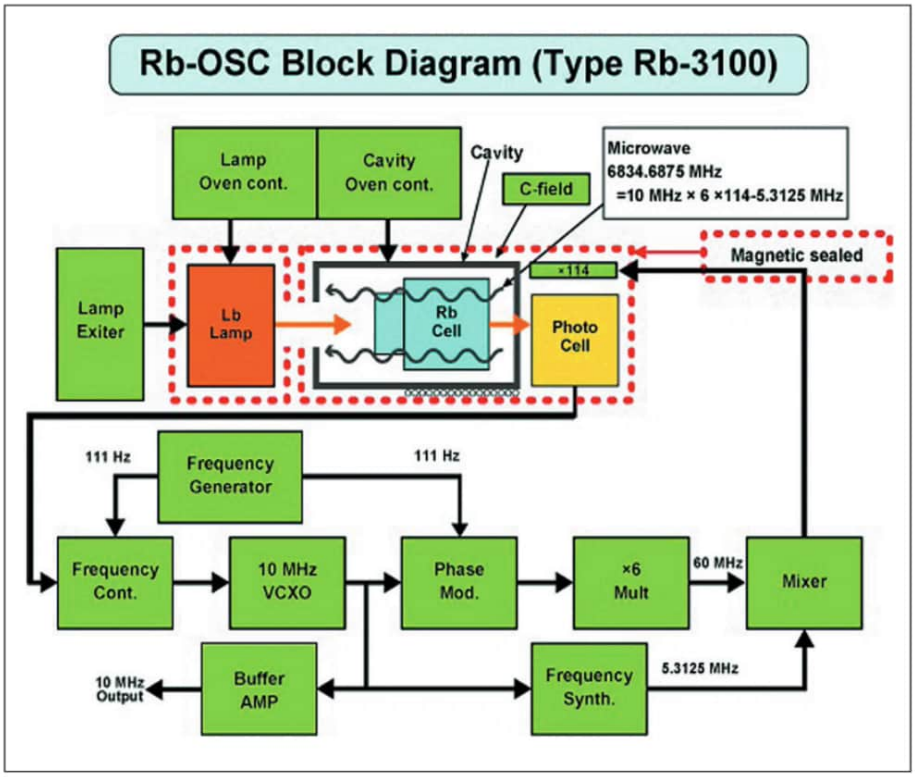
2. táblázat. A DO-35 DOCXO tápáramértékei

A további hőmérsékletkompenzációs megoldásokról, röviden

Az analóg eszközökkel megvalósított hőmérsékletkompenzáció mellett egyre jobb eredményeket érnek el a fejlesztők a részben vagy teljesen digitális megoldásokkal. Ezekben az oszcillátorokban a frekvenciapontosságot nem korlátozzák fizikai határok, lényegében a fejlesztők (és a költségtényezők) határozzák azt meg. Általában az OCXO megoldásokkal elérhető pontosságot célozzák meg, a kristálykályhás felépítés ismert hátrányai (nagy teljesítményigény, hosszú feléledési idő, nagy méret) nélkül. Sajnos, ezen a területen az egyes típusoknak még nincs kiforrott, a működést pontosan jellemző elnevezése, esetenként keverednek a megnevezések, vagy egy megoldás több néven is szerepel.

Vegyes megoldású a DTCXO (Digital Temperature Compensated Crystal Oscillator, digitálisan hőmérsékletkompenzált kvarc-oszcillátor) rezgéskeltő. A hőmérsékletet termisztorral méri, a kapott érték digitalizálása alapján egy tárolt táblázat megadja a beépített kristálytípus frekvenciahibájának nagyságát. Ezt az értéket egy matematikai program segítségével korrigálni lehet a konkrét termisztornak, a kvarckristálynak, és egyéb körülményeknek a figyelembevételével. Egy második táblázat a szükséges vezérlőfeszültséget határozza meg a korrigált frekvenciahiba méretéből. A két táb-

26. ábra



27. ábra

lázatra utalva kéttáblázatos hőmérsékletkompenzált kvarc-oszcillátor (Dual Table Temperature Compensated Crystal Oscillator) névvel is illetik ezt a megoldást, aminek a szokásos betűrövidítése sajnálatos módon azonos a digitális kompenzációra utaló DTCXO betűszóval. A műveleteket a DTCXO-ba beépített mikrovezérlő végzi el. A táblázatból kiolvasott digitális értéket D/A átalakítón keresztül használják fel a belső VCXO hangolására. A beépített matematikai program alapján ezt a típust MTCXO (Mathematically Temperature Compensated Crystal Oscillator, matematikailag hőmérsékletkompenzált kvarc-oszcillátor) néven is forgalmazzák.

A MCXO (Microcomputer-compensated Crystal oscillator, mikroszámítógéppel kompenzált kvarc-oszcillátor) teljesen digitális működésű oszcillátor. A működési hőmérséklet értékét sajátosan határozza meg. Két, eltérő jellegű kristályoszcillátort tartalmaz, azonos kristályokkal. Egy szokásos kialakításban az egyik oszcillátor alapfrekvencián, a másik a harmadik harmonikuson rezeg. A két rezgéskeltő frekvenciájának a különbsége egyértelműen függ a hőmérséklettől, azaz a különbségi frekvencia a hőmérséklet digitálisan mért értéke. Ezt a hőmérséklet-érzékelési megoldást ön-hőmérsékletérzékelésnek (Self-Temperature-Sensing) nevezik. A frekvenciakülönbség értékét a beépített processzor dolgozza fel, majd egy PLL-ből és egy VCXO-ból felépített oszcillátor kimeneti frekvenciáját hangolja ennek alapján (a PLL-en keresztül). A processzor lehet mikroprocesszor vagy mikrovezérlő jellegű, sok esetben egy FPGA részeként kialakítva.

A processzort tartalmazó oszcillátorokat olyan módon is gyártják, hogy az oszcillátorból a mikrovezérlőt, processzort kihagyják. Ilyen esetben az oszcillátor jelét felhasználó készülék processzora látja el az oszcillátorban szükséges számítási feladatokat is. Ez a DCXO (Digitally Compensated Crystal Oscillator, digitálisan kompenzált kvarcoszcillátor) névvel jelölt megoldás sok esetben költségcsökkenést eredményez.

Ha az alkalmazás pontossági igényeit az OCXO változatok és a processzorra épülő digitális oszcillátorok sem tudják kielégíteni, akkor fordulhatnak a rendszer tervezői a rubídiumoszcillátorhoz. Az RbXO (Rubidium Crystal Oscillator, rubídiumoszcillátor) első példányai egy egész szobát megtöltöttek, a mikroelektronika fejlődése révén azonban gyorsan csökkenteni lehetett a méreteket. A rubídiumoszcillátor nem azt jelenti, hogy egy kvarcoszcillátorban a kristály helyére rubídium kerül! Az Epson adta közre az egyik rubídiumoszcillátorának tömbvázlatát (**27. ábra**), láthatóan jóval összetettebb készülékről van szó, mint egy-egy kvarcoszcillátor esetében. Igen nagy eredmény, hogy ma már gyufásdoboz méretben is elkészíthető ez a nagy stabilitású eszköz! Az IQD Frequency Products Ltd. terméke az IQRB-1 oszcillátor. Az 50×50×25 mm méretű oszcillátor frekvenciája 10,0 MHz, beállítási pontossága 0,05 ppb. -30…+65 °C közötti környezeti hőmérséklet mellett működtethető. Tápfeszültsége névleges értéke +12 V, finomhangolását bemenő vezérlőjellel lehet elvégezni (+2,5 V ±2,5 V), ennek hatására a frekvencia ±5 ppb mértékben tolható el (pozitív meredekségű vezérlési lehetőség). A tápáram legnagyobb értéke (bekapcsolás után) 1,2 A. A beindulási idő (amíg bekapcsolás után véglegesítődnek a belső állapotok és a kimeneten a névleges frekvencia megjelenik, a névleges tűréssel és stabilitással,) 5 min.

A méretek, a fogyasztás, a bekapcsolási időtartam nem túl kedvezőek, viszont ezért cserébe az oszcillátor rendkívüli frekvenciastabilitást nyújt. A kimeneti frekvencia legnagyobb napi váltakozása (az előírt környezeti hőmérséklettartomány betartása esetén) 0,005 ppb, a havi érték is csak 0,05 ppb.

Nagyobb pontosságú oszcillátort a cézium atom gerjesztett állapotának felhasználásával, az atomórákban lehet elérni, akár 10^{-3} ppb értéket.) Egy különleges megoldással kvarcoszcillátorral is el lehet érni 10…0,01 ppb közötti frekvenciapontosságot. Ehhez egy GPS-vevőre van szükség, amit az alaposzcillátor felügyeletére, esetenkénti kiigazítására lehet felhasználni. A GPSDO (Global Positioning System Disciplined Oscillator, GPS-sel felügyelt kvarcoszcillátor) nagypontosságú, pl. DOCXO oszcillátorra épülhet, amit a GPS vevő szinkronizál. Eredményül a GPSDO a kimenetén az egyezményes koordinált világidő (UTC) órajelét szolgáltatja. Ilyen elvű időalapokat már karórákba is beépítenek!

A képek forrása:

1. www.righto.com (Ken Shirrif blogja)
2. www.wikiwand.com
3. en.wikipedia.org/wiki

A további fotók a megemlített gyártók, kutatóhelyek hivatalos internetes oldalairól származnak, a vonalas ábrák a szerző saját munkái.

Villogó kapcsolások – ami még kimaradt

Bus László okl. villamosmérnök, busl@dunaweb.hu

Az elektronikának erről a területéről sokféle kapcsolással találkozhattunk, főleg az interneten, de a Rádiótechnika hasábjain is jelentek meg érdekes fényeffekteket produkáló leírások, főleg integrált áramkörös kivitelben. Közleményünk terjedelmi okok miatt a Rádiótechnika 2021/3-11. számaiban megjelent sorozat folytatása. A teljesség igénye nélkül, szintén nem hagyományos kapcsolási változatokat mutatunk be tranzisztoros és integrált áramkörös kivitelben. A cikk írása során szem előtt tartottuk az építőelemek hazai könnyű és olcsó beszerzési lehetőségét.

Az áramköröket tranzisztoros, integrált áramkörös vagy a kettő kombinációjából álló változatokkal építettük meg. A kis fogyasztású kapcsolásokat célszerű 9 V-ról táplálni, mivel a blokkméretű tápforrások kis helyigényűek és könnyen beszerezhetők. A nagyobb áramfelvételű változatokat 5-6 amperórás zselés akkumulátorról, vagy erre a célra készített tápegységről célszerű üzemeltetni. A kapcsolásokat villogó, futópont végül a nagy teljesítményűek sorrendben ismertetjük. Mindegyik változatnál először a tranzisztoros, majd az IC-s változatok következnek.

VILLOGÓK

1. Tranzisztoros

Az **1. ábrán** astabil multivibrátoros, négyfokozatú villogó kapcsolást látunk, amely a hagyományostól abban tér el, hogy a LED-ek itt a tranzisztorokkal paralel vannak kapcsolva. Ebből adódóan a működésben is lesz eltérés, amit az alábbiakban ismertetünk.

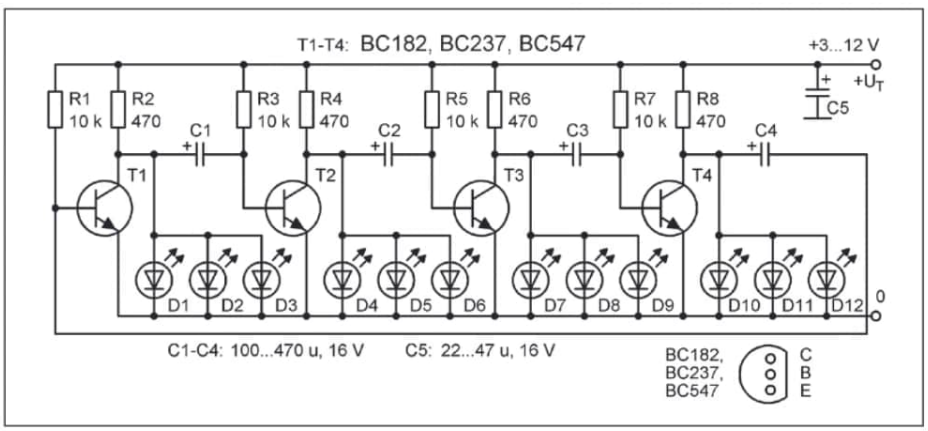
Működés

Az 1. ábrán négy azonos fokozat láncba kapcsolását látjuk. Ha a csatoló kondenzátoroktól eltekintünk, akkor erősítés technikából jól ismert „A” osztályú beállításban működő fokozatokkal van dolgunk. Az egyes fokozatok munkapont beállítása áramgenerátoros megoldású. Mivel négy azonos fokozatról van szó, ezért elég a kapcsolás első két fokozatának működését vizsgálni. Tételezzük fel, hogy T1 nyitva van (vezet) és T2 le van zárva. Ez azt jelenti, hogy az első LED csoport nem ég, míg a másik LED csoport világít. Az elvi rajzból látható, hogyha T1 nyitott, akkor a kollektorán telítési (szaturációs) feszültséggel megegyező potenciál mérhető. Ez a feszültség tartja „lezárva” D1-D3 LED-eket. T2 tranzisztor lezárt állapotban van, ezért a második fénydiódacsoport R4 ellenálláson át áramot kap és világít. Ez a folyamat addig tart, míg C1 az R3-T1 útvonalon át kisül majd áttöltődik, és amikor C1 negatív fegyverzetén eléri a potenciál T2 bázis-emitter nyitófeszültségét (+0,6 V), ekkor T2 kinyit és ezzel egyidejűleg a negatív feszültségugrásra T1 lezár. Ez az állapot addig tart, míg C2 kondenzátor R1 ellenálláson és a nyitott T2-n keresztül kisül majd áttöltődik T1 bázis-emitter nyitófeszültségéig. Most T1 újra vezető állapotban van, míg T2 lezárt állapotba kerül. Ez a folyamat aztán ismétlődik. Itt jegyezzük meg, hogy például T2 kollektorfeszültsége megegyezik D4-D6 fénydiódák nyitó feszültséggel, ez azt jelenti, hogy a lezárt tranzisztor(ok) nál a kollektor feszültsége nem éri el a tápfeszültséget. Amikor C1 kondenzátor kisül, ezzel egyidőben C2 R4-T1 szakaszon feltöltődik. C2 kisütési ideje alatt pedig C1 az R2-T2 útvonalon feltöltődik.

A hagyományos felépítésű astabil kapcsolásoknál mindig a vezető állapotú tranzisztorral soros ágban levő LED világít. Ebben a kapcsolási variácóban mindig a lezárt tranzisztorral párhuzamosan lévő LED világít, vagyis ez a kivitel működés szempontjából a hagyományosnak az inverze.

Visszatérve a négyfokozatú kapcsoláshoz a villogás tranzisztorpáronként történik, vagyis például T1, T3-hoz tartozó LED-csoport világít, addig T2, T4 csoportja sötét és ez fordítva. A villogás ütemét (frekvenciáját) a báziselenállásokkal vagy a fokozatok közötti csatoló kondenzátorral tudjuk változtatni a kívánt értékre. Csak azonos tűrésű kondenzátorokkal működik megfelelően a villogó. 100 uF-os kondenzátorokkal a LED csoportok kb. 1 Hzes frekvenciával villognak. A kapcsolás viszonylag széles feszültségtartományban működőképes. Kérdés azonban az, hogy mekkora az a minimális tápfeszültség amiről a villogó még stabilan működik. Ez elsősorban az áramkörben használt LED-ek színétől függ.

Például kék vagy fehér LED esetén gyártótól függően 3...3,6 V nyitófeszültséggel számolhatunk, míg ez piros



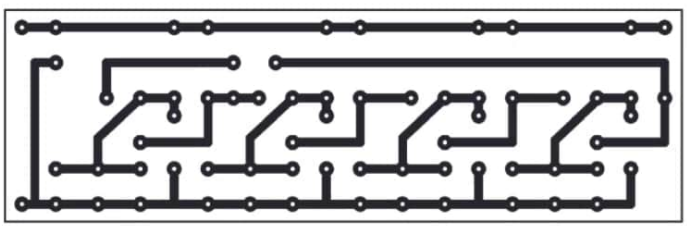
1. ábra

fénydiódáknál 1,6...2 V. Az első esetre, figyelembe véve az elemszórásokat, ez kb. 4,5 V-ra tehető. Piros LED-eknél a minimális tápfeszültség 3 V körüli. A tápfeszültség növésével (8...10 V) a villogás gyorsabb lesz, míg 3...4 V környékére való csökkentésével szemmel láthatóan lassul, ún.„finom hangolás". A helyes működés érdekében egy csoportban azonos színű LED-eket használjunk. Érdekes fényhatást érünk el, ha az egyes csoportokat különböző színű LED-ekkel építjük fel. A villogót fokozatonként két piros LED-del építettük meg, 9 V-ról táplálva az áramfelvétel 68 mA volt. A kapcsolás változatlan elemértékekkel 5 V- ról is működik 36 mA fogyasztás mellett. Első ránézésre az áramfelvétel soknak tűnik, de ne feledjük el, hogy azoknál a fokozatoknál, ahol a LED csoportok nem világítanak a nyitásban lévő két tranzisztor szintén terheli a telepet.

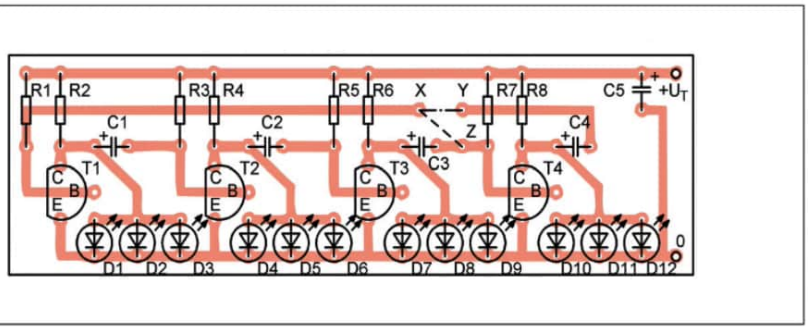
Elkészítés

Az áramkört a **2. ábrán** látható egyoldalas nyáklemezen készíthetjük el, melynek mérete 88×29 mm. A nyomtatási rajzot úgy terveztük, hogy egy-egy diódacsoport max. 3 db LED-ből áll. A beültetési rajz a **3. ábra** szerinti. A beültetési rajzon látható „X" és „Y" jelzésű két pontot kell egy bekötőhuzallal összekötni, így lesz négyfokozatú a villogó. („X" és „Z" összekötése esetén három fokozatú a villogó.) Az alkatrészek beültetésekor a kondenzátorokat forrasszuk be utoljára. A beültetés után a nyomtatott áramkört kapcsoljuk 9 V-ra, most mindegyik LED-nek sötétnek kell lenni. A villogó ekkor működik jól. Utolsó fázisként az elkókat forrasszuk be. Ekkor a működési részben leírtaknak megfelelően kell az áramkörnek villogni. Mi a villogó kapcsolást fokozatonként 2 piros LED-del építettük meg.

Néhány szót az építőelemekről: tranzisztornak bármely kisteljesítményű Si típus megfelel, az ellenállások fémrétegűek ±5% tűréssel és 0,6 W terhelhetőséggel. A kondenzátorok elektrolit típusúak. Szuperfényes LED-ek alkalmazása esetén a fogyasztást lehet optimalizálni, azaz az egyes fokozatok kollektorellenállását az elvi rajzon a megadotthoz értékhez képest 30-50%-kal meg lehet növelni, tápfeszültségtől függően. Itt jegyezzük meg, hogy a villogó kapcsolások elemei egyoldalon folírozott nyáklemezen kerülnek beültetésre. Az impulzusszerű áramlökések által okozott telepfeszültség-változás csökkentésére az elvi rajzokon megadott értékű elektrolit vagy tantál kondenzátort forrasszunk a tápfeszültség plusz-mínusz fóliacsíkjára. Továbbá az IC-s kapcsolásoknál az integrált áramkör(öke)t célszerűen foglalatba helyezzük.



2. ábra



3. ábra

2. Integrált áramkörös

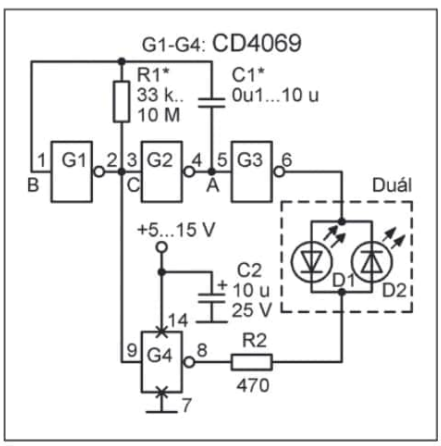
a) Változat

Működés

A legegyszerűbb villogó két inverterből felépített astabil multivibrátor, melynek elvi rajza látható a **4. ábrán**. Mivel inverterekről van szó, ezért az „A" és „B" pontokon megjelenő jelek a „C" pont jelének invertáltja. Tételezzük fel, hogy a „C" ponton logikai 1-es (H) szint van, akkor „A" és „B" pont logikai 0 (L) szintű. C1 kondenzátor az R1 ellenálláson keresztül addig töltődik, amíg feszültsége eléri G1 kapu bemeneti („B" pont) küszöbszintjét (billenési küszöb). Ekkor „C" pont szintje logikai nullára vált át. G2 kapu kimenetén („A" pont) ebből adódóan logikai 1 jelenik meg. Most C1 kondenzátor ezután kisül R1 ellenálláson keresztül addig, amíg G2 kapu küszöbszintjét eléri. Mivel a kisütés és a feltöltődés időállandója megegyezik, így a kapcsolás elvileg szimmetrikus négyszögjelet szolgáltat (50%-os kitöltési tényező), ha a billenési küszöb a tápfeszültség felével egyezik meg.

G3 kapunak kettős feladata van: egyrészt elválasztó az oszcillátor és a terhelés között, másrészt a 180°-os fázistolást biztosítani, mivel duál LED-et használunk. R2 ellenállás a fénydióda áramát korlátozza.

A kapcsolás frekvenciameghatározó elemei széles értéktartományból választhatók. Az elemek értékét úgy válasszuk meg, hogy a villogás üteme 0,5 Hz körül legyen. Ez például C1 = 1 uF, R1 = 1 Mohm mellett elérhető. CMOS IC-k esetén a nem használt bemeneteket tápfeszültségre vagy földre kell kötni a biztonságos működés érdekében.

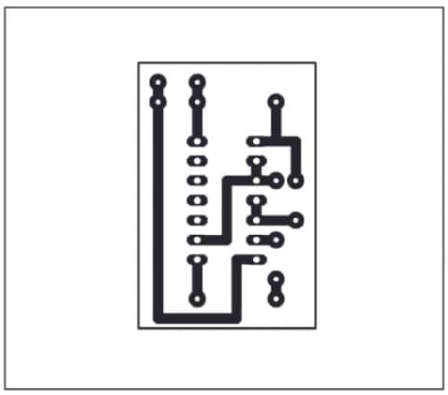


4. ábra

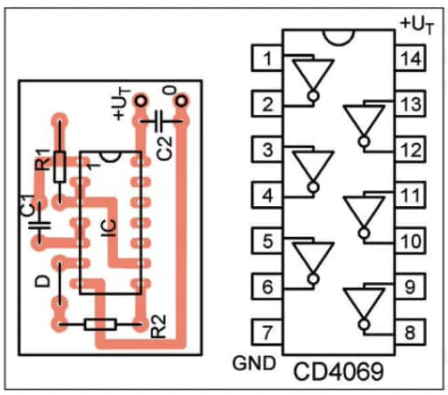
A villogó viszonylag széles feszültségtartományban: 5...15 V-ig működik. Figyelembe véve azt a tényt, hogy a duál LED-ekre is 30 mA maximális nyitóárammal számolhatunk, ezért R2 áramkorlátozó ellenállás értékét, úgy választjuk meg, hogy 5 és 10 V között 22...25 mA-nél nagyobb áram ne folyjon (lásd az elvi rajzot). Az áramkör 9 V-ról 19 mA-t, míg 10 V-ról 23 mA áramot vesz fel. 10...15 V között az áramkorlátozó ellenállást, R2 = 1 kohmra javasoljuk választani.

Elkészítés

A kapcsolást egy 34×20 mm méretű nyákon készíthetjük el az **5.** és **6. ábra** szerint. Az integrált áramkört javasoljuk foglalatba ültetni. Először az IC foglalatot ültessük be. A nF értékű kondenzátorok kerámia típusok és 63 V-osak, míg a uF-osak lehetnek tantálok vagy elektrolitok. Az ellenállások fémrétegek



5. ábra



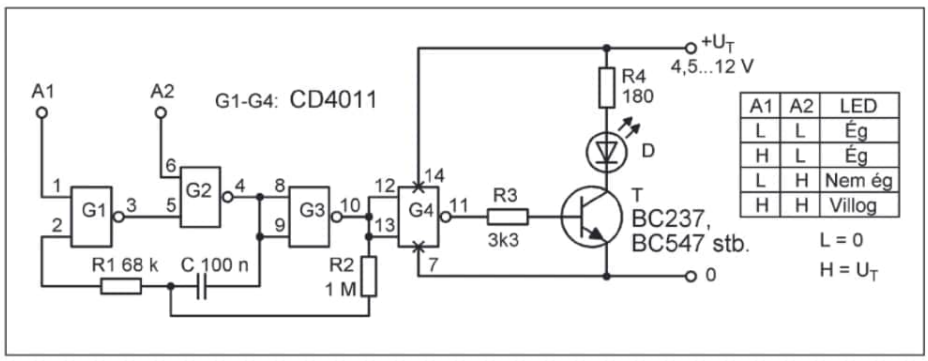
6. ábra

±5% tűréssel, 0,6 W terhelhetőséggel.

b) Változat

Működés

Ebben a konfigurációban NAND-kapukból álló oszcillátorkapcsolást



7. ábra

mutatunk be. Egyes bemenetek össze vannak kötve egymással, amint a **7. ábrán** látható. A G1, G2 és G3 kapukból áll maga az oszcillátor, míg G4 elválasztja T tranzisztor bemenetének terhelő hatását a G3 kapuról. A kapcsolás frekvenciameghatározó részét R2-C1 elemekből álló hálózat képezi. Magát a kapcsolást „intelligens" optikai kijelzőnek is nevezhetjük, mivel az A1 és A2 bemenetekre adott feszültségszintektől függően három féle jelzésképp hozható létre (ld. az elvi rajz melletti táblázatot).

A korrekt megoldás érdekében G1 kapu bemenetére R1előtétellenállást kell kötni, hogy a terhelő hatást R2-C1 tagra nézve csökkentsük. Ez akkor jelentkezik, amikor G1 kapu védőáramköre kinyit, ha a bemeneti feszültség a tápfeszültséget meghaladja vagy a földpotenciál alá csökken. Különben a kapcsolás előtétellenállás nélkül is működik, esetleg kell jelalak torzulás mellett. CMOS kapuk használatakor nagy periódusidőt érhetünk el R2 nagy értékű megválasztásával (megaohm nagyságrend).

A T tranzisztor a vezérlőjel hatására kinyit és ezzel együtt D fénydióda világít, melynek áramát R4 ellenállás korlátozza. A kapcsolás már 4,5 V-ról működik. Az optikai kijelzőt nagyobb tápfeszültségről is üzemeltethetjük, ekkor R4 értékét ennek megfelelően módosítsuk. R4 értékét 8...12 V között úgy méretezzük, hogy 12 V esetén is 15...20 mA körüli áram folyjon a LED-en. A kapcsolás áramfelvétele 5 V-nál 12 mA, 7 V-nál 21 mA volt. Az áramfelvételt mindkét esetben R4 = 180 ohm értéke mellett mértük. A 7. ábrán látható értékekkel a villogás frekvenciája 1 Hz körülinek adódott.

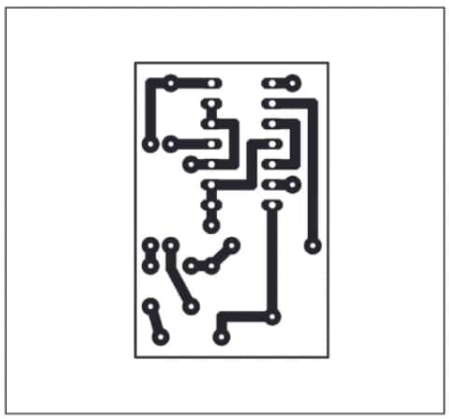
Elkészítés

Az intelligens kijelzőt 36×23 mm-es nyáklemezen készítjük el. A nyomtatási rajzot a **8. ábrán**, míg a beültetésit a **9. ábrán** adtuk meg. A beültetést először az IC foglalat beforrasztásával kezdjük, majd a többi elemet. Végül az integrált áramkört helyezzük a foglalatába. Amennyiben minden elemet precízen a helyére forrasztottunk, a kijelző már működőképes is. A passzív és az aktív alkatrészekre vonatkozókat lásd az előző kapcsolásoknál.

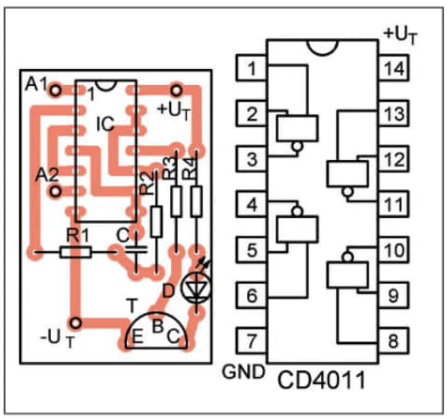
c) Változat

Működés

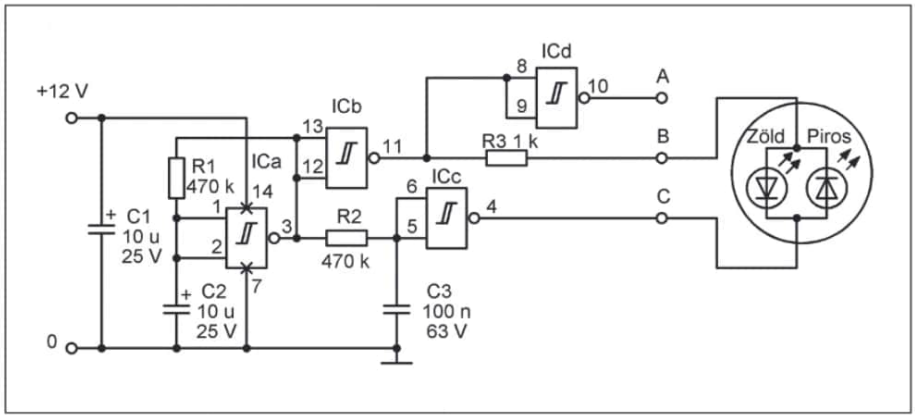
Ennél a megoldásnál CD4093 jelű CMOS IC-t használunk, amely egy



8. ábra



9. ábra



10. ábra

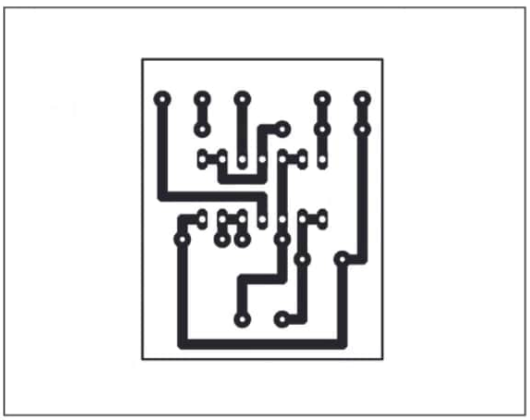
tokban 4 db invertáló Schmitt-triggert tartalmaz. A villogó kapcsolás elvi rajza a **10. ábrán** látható.

A villogót duál LED-hez terveztük. Az elvi kapcsolásból látszik, hogy az ICa jelű része képezi a kapcsolás oszcillátorát. Itt C2 kondenzátor R1 ellenálláson keresztül töltődik a Schmitt-trigger felső billenési szintjéig, ekkor a kimenete átbillen és L (alacsony) szintre vált. Most C2 kondenzátor R1-en át kisül az alsó billenési szintig, aminek következtében a kimenet H (magas) szintre vált. Ez a folyamat azután ismétlődik. Mivel a töltődés és a kisütés ugyanazon ellenálláson keresztül történik, így az oszcillátor 50%-os kitöltési tényezőjű négyszögjelet állít elő. Ez a jel jelenik meg a kapcsolás „A" és „B" pontján. A két pont között 180° fáziskülönbség van. Addig „B" és „C" pont között R2-C3 tag feltöltődési és kisütési ideje alatt áll fenn ez a fáziskülönbség.

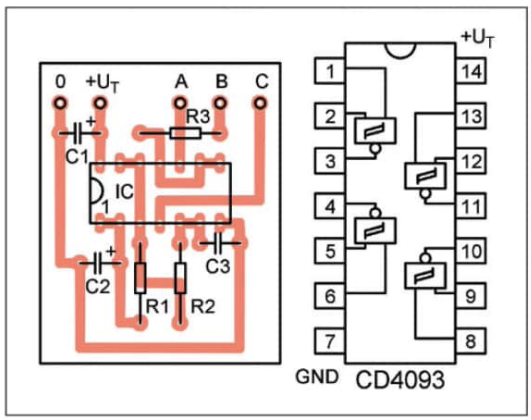
Az ICb-ICd Schmitt-triggeres kapuknak elválasztó szerepe van. A kétlábú duál LED felváltva piros és zöld színben villog. R3 ellenállás a duál LED áramát szabályozza. A szimmetrikus négyszögjel frekvenciáját R1-C2 elemek határozzák meg. „B" és „C" pontok között a LED csak rövid időre villan fel. A felvillanás időtartamát R2-C3 tag határozza meg. A kapcsolás áramfelvétele 12 V tápfeszültség esetén B-C között mérve 1...1,5 mA-nek, míg A-B között 6...7 mA-re adódik. Változatlan elemértékek mellett már 5 V-ról is jól működik a kapcsolás.

Elkészítés

A villogó kapcsolást egy 35×30 mm nagyságú nyáklemezen készítsük el. A nyomtatási rajz a **11. ábrán**, míg a beültetési rajz a **12. ábrán** látható. Ha a duál LED beszerzése gondot okoz, akkor használhatunk 2 db hagyományos LED-et, ekkor az egyik fénydiódát a nyomtatási oldalon beforrasztott két színes bekö-tővezetékhez forrasztjuk ellentétes polaritással. Az áramköri elemekre vonatkozókat lásd az előbbi kapcsolásoknál.



11. ábra



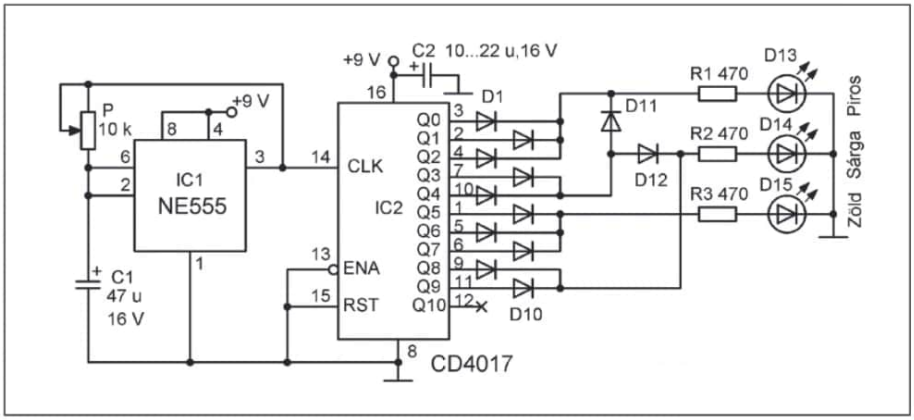
12. ábra

d) Változat

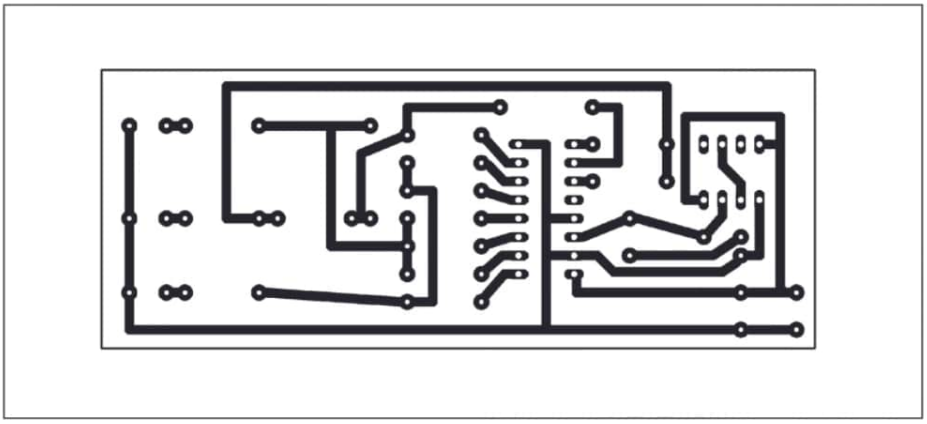
A **13. ábrán** egy olyan villogó kapcsolást mutatunk be, amellyel minden nap találkozunk a városi közlekedésben, elsősorban kereszteződéseknél. Hétköznapi nyelven villanyrendőrnek is nevezik.

Működés

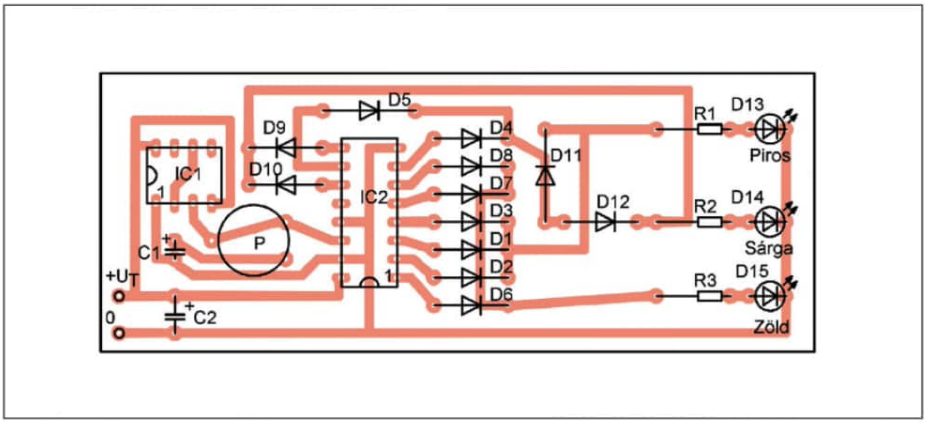
A működéshez szükséges négyszögjelet (órajelet) NE555-tel (IC1) állítjuk elő Schmitt-triggeres kapcsolásban, de használhatjuk ennek a MOSFET-es változatát a TLC555-öt is. Az órajel frekvenciáját P potenciométerrel állítjuk be a kívánt értékre. A jelsorozat rákerül IC2, CD4017 dekádikus számláló/osztó 14-es bemenetére. Alaphelyzetben, amikor az IC bemenetére (14. láb) nem érkezik jel mind a 10 kimenete L szinten (földpotenciálon) van. Az első beérkező órajel hatására Q0 kimenet H szintre (magas, közel tápfeszültségre) vált. Megjegyezzük, hogy az IC a beérkező impulzus felfutó (pozitív) élére léptet. A beérkező második órajelre Q1 lesz magas szintű és Q0 kimenet GND-re áll. Beérkezik



13. ábra



14. ábra



15. ábra

a harmadik órajel, most Q2 lesz H szinten és Q1 kerül gyakorlatilag földpotenciálra. Ez folytatódik egészen addig, míg a bejövő jel eléri Q9 kimenetet, majd kezdődik elölről a most leírt folyamat. A teljesség kedvéért jegyezzük meg, hogy a 13. láb (EN) az engedélyező bemenet: ha földre van kötve, engedélyezi az IC működését. A 15. láb (Reset) alaphelyzetbe állító láb, ha tápfeszültséget kap, akkor a dekóder IC Q0 kimenetére fog kapcsolni, GND esetén hatástalan marad. Mivel e két lábat a kapcsolásban nem használjuk, földre forrasztottuk.

IC2 kimenetein levő Si diódáknak elválasztó feladatuk van. Induljunk ki abból, hogy az órajel D1-D3 diódákat egymás után sorban kinyitja, így ezek katódján közel tápfeszültség jelenik meg, aminek hatására D13 piros LED világít. A következő fázisban a bejövő impulzus nyitásba viszi D4, D5, valamint D11 és D12 diódákat, ennek következtében D13 piros és D14 sárga LED egyszerre világít. Az újabb bejövő órajel most D6-D8 diódákat nyitja, ennek következtében D15 zöld LED világít. Ezzel egyidejűleg D13 és D14 kialszik. Ez a közlekedési lámpa „oda" irányú működése.

„Vissza" irányban D15 zöld LED világít, és a most beérkező órajelre D9, D10 katódján közel tápfeszültség jelenik meg, mire a D14 sárga LED égni fog, ezzel egyidőben D15 kialszik. Az ezután érkező impulzusok újra elérik Q0, Q1, Q2 kimenetet, így D13 piros fénydióda újra felgyullad, eközben D14 (sárga) és D15(zöld) kialszanak.

A fenti folyamat ismétlődik folyamatosan. R1-R3 ellenállások az egyes LED-ek áramát szabályozzák. A kapcsolást 9 V-ról táplálva 15 mA-t vesz fel.

Elkészítés

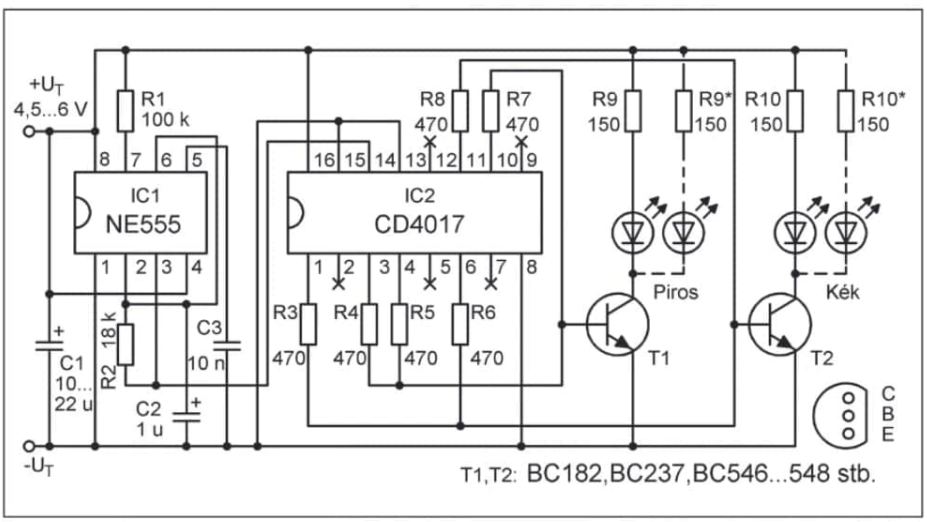
A közlekedési lámpát egy 90×37,5 mm méretű nyáklapon a **14.** és **15. ábra** alapján készíthetjük el. C1, C2 kondenzátor lehet tantál vagy elektrolit típusú. P potenciométer miniatűr kivitelű, ez és a kondik nem lehetnek ± 20%-nál nagyobb tűrésűek.

e) Változat

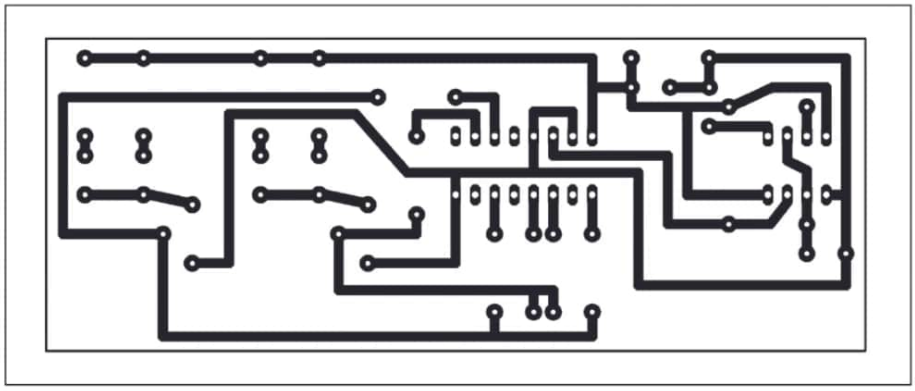
Működés

Egy újabb integrált áramkörös villogó kapcsolást mutatunk be a **16. ábrán**. A négyszögjeleket az előbbi kapcsoláshoz hasonlóan NE555-tel (IC1) állítjuk elő a megszokott kapcsolástechnikával. Ezek az impulzusok kerülnek aztán IC2 bemenetére (14-es láb). IC2 szintén CD4017, ennek működését lásd az előző változatnál. Itt mindössze 6 kimenetet használunk a 10 közül. A felhasznált kimenetekre ellenállásokat kötöttünk és a három kimenetet (3., 4., 10. láb) összefogva vezéreljük T1 bázisát, aminek hatására a tranzisztor kinyit és a D1, D2 fénydiódák világítanak az átfolyó kollektoráram hatására. A másik három kimenetet (1., 6., 11.) összefogva fogja meghajtani T2 bázisát, és most ennek a kollektorárama folyik át D3, D4 LED-eken. Most ezek világítanak.

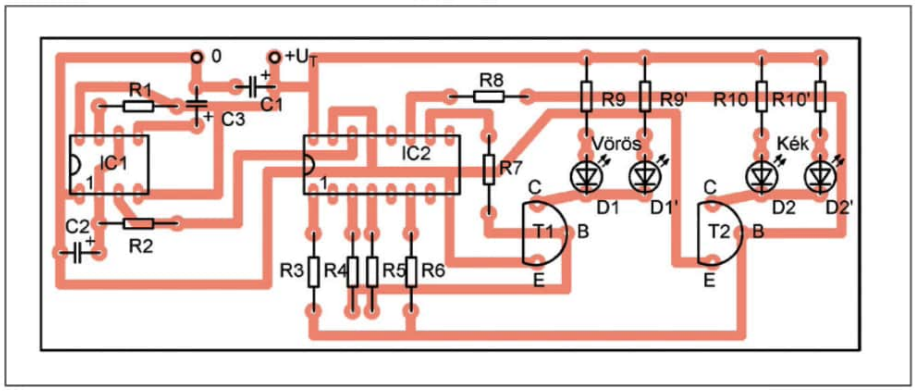
Az áramkörben piros és kék színű LED-eket használtunk. A villogó úgy működik, hogy először a piros színű villan fel háromszor, majd a kék színű szintén háromszor. A szikrázó hatást C1 kondenzátor értékének 1uF-os választá-



16. ábra



17. ábra



18. ábra

sával értük el. Az áramkör az amerikai rendőrség járműveinek villogó fényét szimulálja. A villogót 1-1 LED-del megépítve és $U_T = 4,5$ V esetén az áramfelvétel 10,5 mA volt. A tápfeszültséget 6 V-ra növelve 17 mA fogyasztást mértünk. Az áramkört 3 db ceruzaelemről is működtethetjük. A villogó már 3 V-ról mint minimális tápfeszültségről működik, a LED-ek halványabb fénye és a villogási frekvencia csökkenése mellett.

Elkészítés

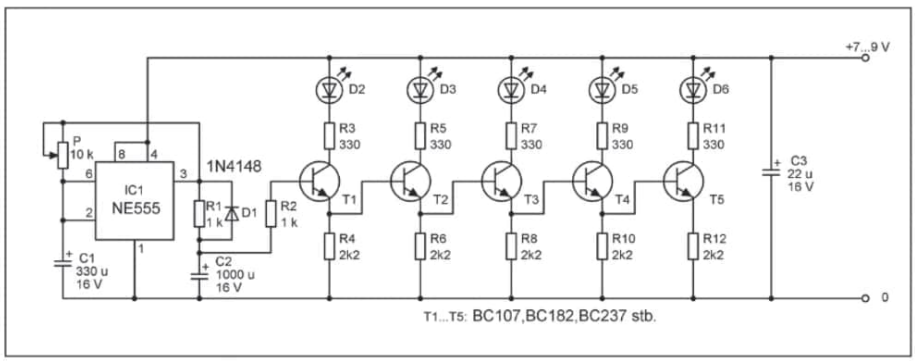
A villogó áramkört 105×40 mm nagyságú nyákon készítjük el. A nyomtatási rajz a **17. ábrán**, míg a beültetésé a **18. ábrán** látható. A beültetési rajzot úgy terveztük, hogy a tranzisztorok kollektorkörébe 2 LED ültethető be, ha nagyobb fényhatást akarunk elérni. Ennek függvényében a fogyasztás is a duplájára nő. Az aktív elemekről annyit, hogy bármely kisteljesítményű Si tranzisztor megfelel. A passzív elemekről korábban tettünk említést.

FUTÓFÉNYEK

1. Tranzisztoros + integrált áramkörös

Működés

Egy érdekes, ötfokozatú, DC-csatolt futófény konfigurációt mutatunk be a **19. ábrán**. Az áramkör a működéséhez szükséges négyszögjeleket az NE555



19. ábra

(IC) Schmitt-triggerként állítja elő. P potenciométerrel állíthatjuk be a futófény frekvenciáját a kívánt értékre. Az impulzusgenerátor 3-as lábán R1-D1-C2 komplexum található, melynek a működésben meghatározó szerepe van. Amikor a generátor kimenete magas szinten (U_T – 1...2 V) van, akkor C2 kondenzátor R1 ellenálláson át el kezd töltődni, amikor a kimenet alacsony szintre ugrik (közel GND), akkor C2 D1 diódán kisül. A következő periódusban a kimenet újból magas szintre vált, majd ismétlődik a folyamat. Térjünk vissza a kimeneten lévő elkó töltődéséhez. Az elkó pozitív fegyverzetén a feszültség exponenciális görbe szerint növekszik. A töltődő kondenzátorról R2 ellenálláson keresztül T1 bázisáramot kap, így ez kinyit és D2 kigyullad. Közben C2-ön tovább nő a feszültség, aminek hatására T1 emitterén is oly mértékben nő meg a potenciál, hogy az elegendő lesz T2 nyitásához. Most D3 fénydióda fog kigyulladni. Ez a folyamat ismétlődik és addig tart, míg mind az öt LED égni fog. Amikor az NE555 kimenete alacsony szintre vált, ekkor elkezdődik C2 kisütése D1-en át, ezzel egyidejűleg mind az öt LED kialszik. Az előbb leírt jelenség újra kezdődik.

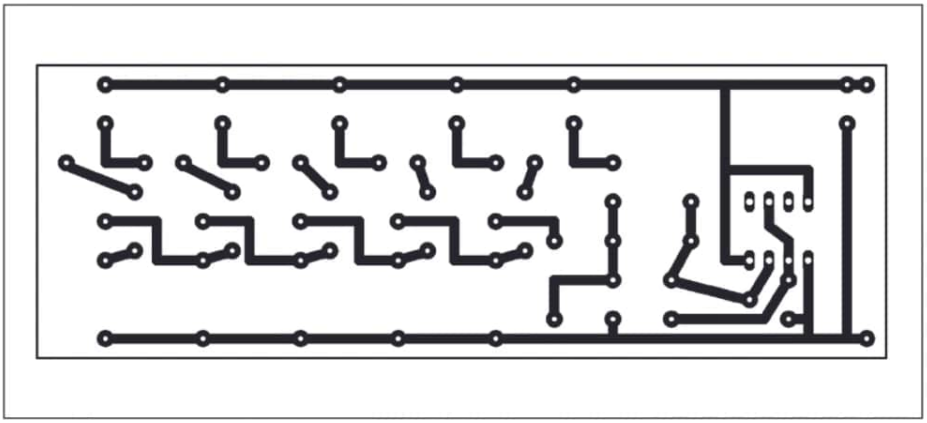
Megjegyezzük, hogy a LED-sor hasonlóan működik mint a feszültségszint kijelzőknél. Visszatérve az egyes fokozatokban levő emitter ellenálláshoz: az előbb leírt szerepén kívül áramkorlátozást is végez. A LED-ekkel sorba kötött ellenállások pedig csökkentik a kollektorokra jutó feszültséget, ami a disszipáció szempontjából kedvező. A kapcsolás 7...9 V között stabilan működik. 7 V-ról a futófény kb. 10 mA-t vesz fel, 9 V esetén az áramfelvétel 16 mA.

Elkészítés

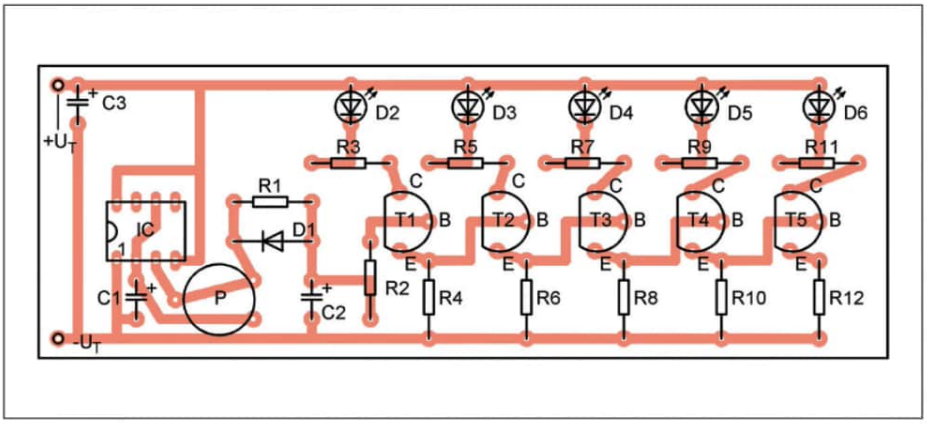
A futófény kapcsolást 107×37,5 mm nagyságú nyáklemezen készítjük el. A nyomtatási rajz a **20. ábrán** látható, a beültetési rajzot a **21. ábra** mutatja. Az áramkörben bármely kisteljesítményű szilícium tranzisztor megfelel. A többi építőelemről a cikk elején tettünk említést.

2. Integrált áramkörös

Az eddig ismertetett kapcsolásokban ún. „szimpla” LED-eket használtunk, míg ebben a kapcsolási variációban duál LED-eket használunk.



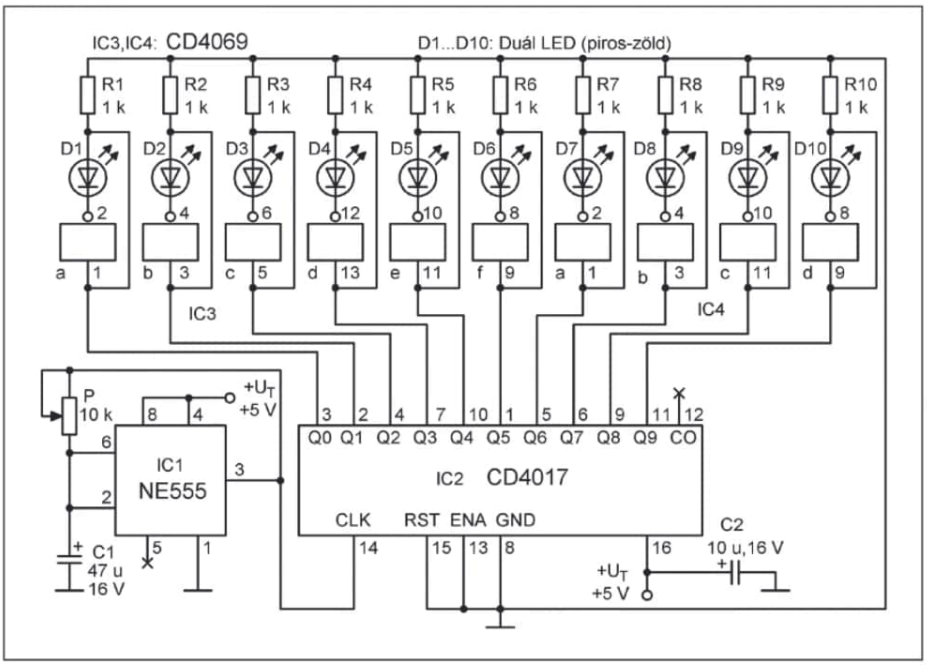
20. ábra



21. ábra

Működés

A futófény kapcsolás a **22. ábrán** látható, amely három részből áll: a négyszög- jeleket szolgáltató impulzus generátorból, a dekádikus számláló/osztóból és a villogórészből. A villogó egység fénydiódái duál LED-ek, amelyeknél egy tokban két dióda van antiparalel kapcsolásban. (A 22. ábrán egyszerűsítetten csak a piros LED-eket ábrázoltuk!) Az első két áramköri részegységet a közlemény korábbi szakaszaiban már ismertettük. Itt a futófény



22. ábra

rész tartogat számunkra érdekességet. Az elvi kapcsolásból látható, hogy IC2 mindegyik kimenetére egy-egy inverter csatlakozik. A CD4069 típusú digitális IC 6 invertert tartalmaz egy tokban. Mivel IC2 mindegyik kimenete és a GND között ugyanazon építőelemek találhatók, ezért elegendő egy ág működését ismertetni.

Alaphelyzetben (órajel nélkül) IC2 kimenetei alacsony szinten vannak, a galvanikus kapcsolat miatt így IC3a bemenete is alacsony szintű (logikai 0). Az inverter funkciójából adódóan IC3a kimenetén magas (logikai 1) lesz a szint. Ekkor a D1 duál LED zölden fog világítani. (Megjegyezzük, hogy a duál LED-eket úgy ültessük be, hogy vezérlőjel nélkül zöld színben égjenek, a hosszabbik láb lesz fémes kapcsolatban az inverter kimenetével.) Természetesen a fénydiódákat ellentétesen is beforraszthatjuk, azaz ez esetben mindegyik piros fényben világít. Visszatérve oda, hogy a D1 duál LED zöld diódája ég, ennek áramát a zöld fényű dióda, valamint IC3a p-csatornás MOS tranzisztorának belső ellenállása korlátozza.

IC2 14-es lábára érkező impulzus hatására a Q0 kimenet (3-as láb) magas szintre vált, ekkor IC3a kimenete alacsony potenciálú lesz (gyakorlatilag 0 V). A 22-es ábrán látható átkötéssel az inverter bemenetén lévő logikai „1” szintet átvisszük a D1 és R1 közös pontjára. Ennek következtében az áram egy része R1 ellenálláson, másik része D1 piros fényű diódáján és az inverter n-csatornás MOSFET-jén át a föld felé folyik. Most D1 piros fénnyel világít, és az áramát a D1 piros fényű tagjának belső ellenállása és az IC3a n-csatornás MOS tranzisztorának belső ellenállása határozza meg. A bejövő következő órajel hatására Q0 kimenet alacsony szintre vált, és D1 duál LED zöld diódája világít, ezalatt Q1 logikai „1” szintre ugrik, és most D2 világít piros fénnyel. A léptetési folyamat Q9 kimenet eléréséig tart, majd minden kezdődik elölről.

Ezzel a kapcsolástechnikával duál LED-es futófényt hoztunk létre. A kapcsolást 5 V-ról üzemeltetve az áramfelvétel 33 mA, míg 6 V esetén 45 mA körülire adódik.

Elkészítés

A kapcsolást 115×78,5 mm méretű nyáklemezen készíthetjük el. A nyomtatási rajz a **23. ábra** beültetési rajz **24. ábrán** látható. Az integrált áramköröket helyezzük foglalatba. A futó-

fény passzív elemeiről a korábbi kapcsolásoknál tettünk említést.

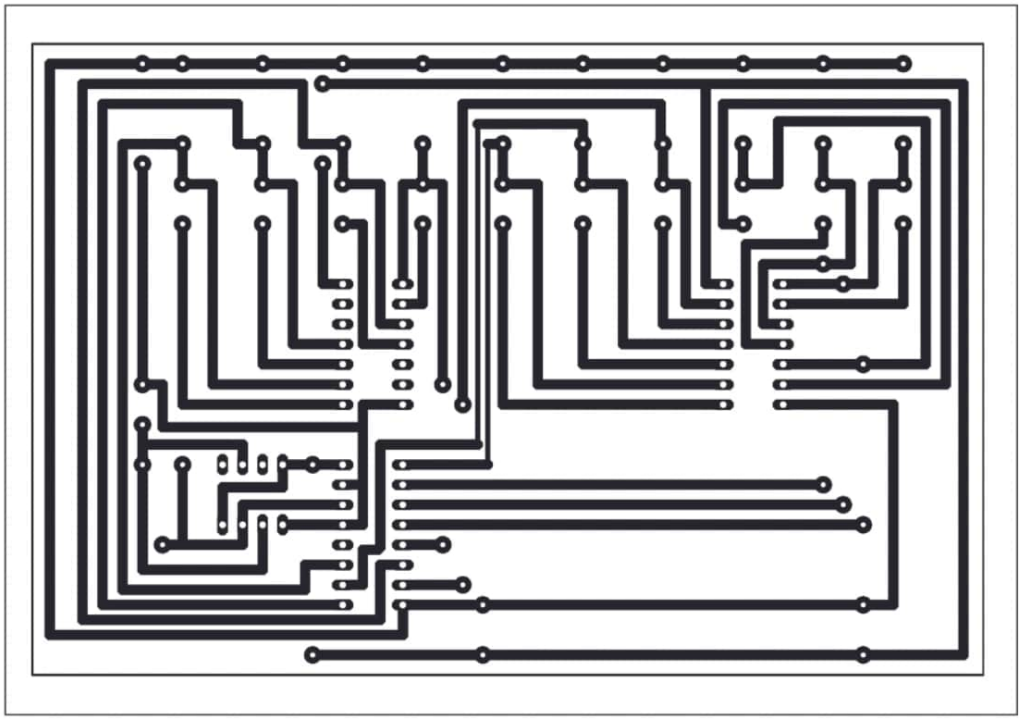
VILLOGÓ, TELJESÍTMÉNY LED-del

Az interneten és a Rádiótechnikában leközölt villogó kapcsolások mind tranzisztoros, mind integrált áramkörös változatban kisteljesítményűek. A világítástechnika korszerűsödése és napjaink autóipara a gazdaságos, nagy fényerejű fényforrások gyártása irányába kényszerítette a félvezetőgyártó cégeket. A fejlesztések eredményeként megjelentek a piacon a világítástechnika új, nagyteljesítményű LED-jei (angolul: power LED-ek). Napjainkban ezen eszközök tömeggyártása folyik, több teljesítményfokozatban. Ennek következtében már a hazai piacon is kaphatók a power LED-ek. Mi ebből a gyártmánycsaládból az 1 W és 3 W-os példányokat szereztük be.

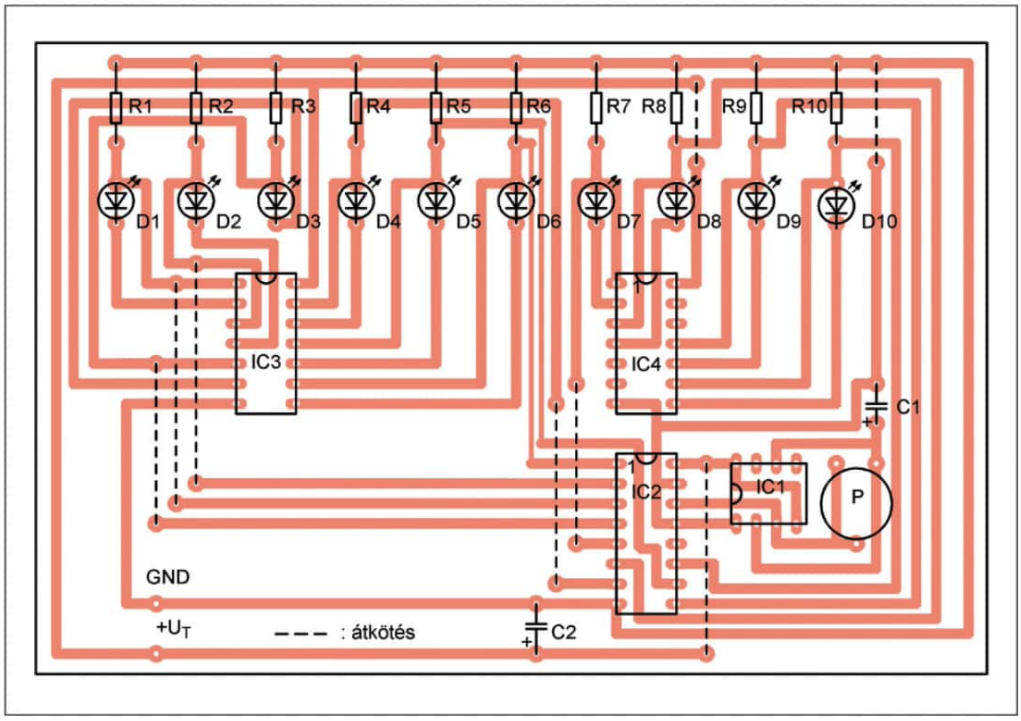
1. Tranzisztoros

Működés

A **25. ábra** szerinti villogó kapcsolás teljesítmény LED-ek működtetésére lett tervezve. Az áramkör három részből áll: impulzus generátorból, decimális számláló/dekóderből, valamint a teljesítmény fénydiódákat meghajtó fokozatból. Az impulzus generátor és a decimális számláló/dekóder működését az előző részekben már ismertettük. IC2 kimenetein látható D1, D2, valamint D3, D4 diódák logikai VAGY kapcsolatot hoznak létre. D5 1 W LED



23. ábra



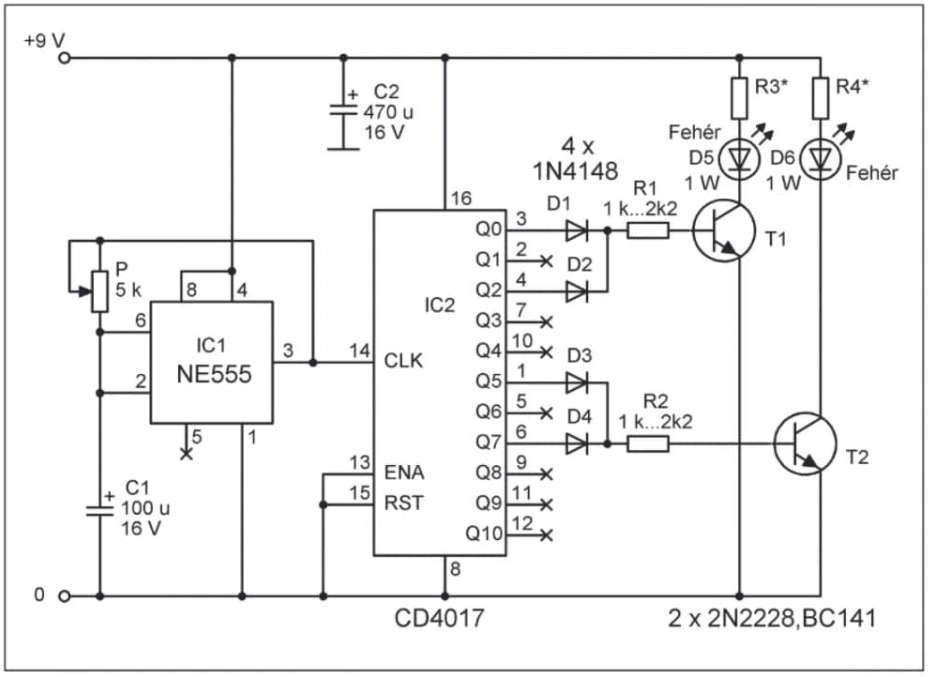
24. ábra

R3 = R4	9 V	9 V	12 V	12 V
10 v. 20 ohm	1 LED	2 LED	1 LED	2 LED
I_C (20 ohm)	240 mA	–	310 mA	–
I_C (10 ohm)	–	200 mA	–	305 mA

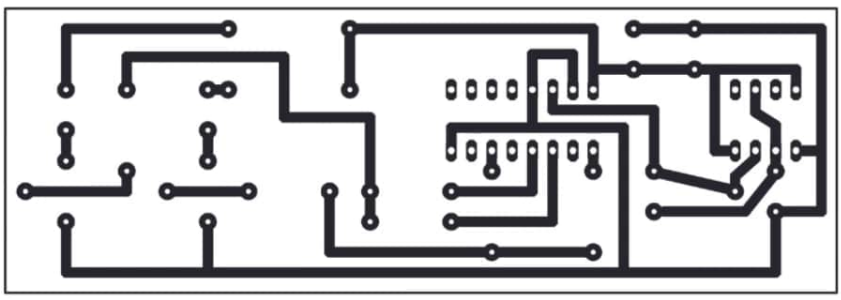
Megjegyzés BC141-16 esetén:
R1 = R2 = 4,7 kohm; R3 = R4 = 20 ohm 1 LED-nél, 2 LED-nél 10 ohm.

1. táblázat

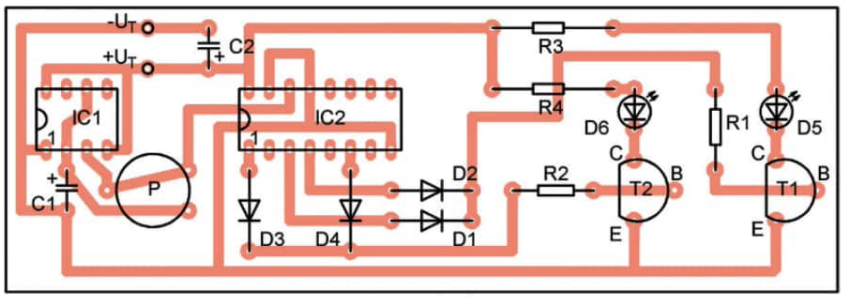
kétszer villan fel, majd D6 szintén kétszer. A két felvillanást egy kicsit hosszabb szünet követi. A felvillanások közötti időtartam P potenciométerrel állítható be. T1 és T2 áramgenerátoros meghajtást kapnak a bázisukkal sorba kötött R1 és R2 ellenálláson keresztül. R3 és R4 ellenállások csökkentik a tranzisztorok kollektorán mérhető feszültséget, vagyis az egyes tranzisztorok disszipációját.



25. ábra



26. ábra



27. ábra

R5 = R6	9 V	9 V	R5 = R6	11 V	11 V
10 ohm	1 LED	2 LED	10 v 20 ohm	1 LED	2 LED
I_D (10 ohm)	185 mA	175 mA	I_D (20 ohm)	320 mA	–
	–	–	I_D (10 ohm)	–	300 mA

2. táblázat

A T1 és T2 tranzisztorok típusát úgy választottuk meg, hogy az 1 W-os LED-ek biztonsággal számított 300 mA-es áramához elegendő tartalék legyen. R3 és R4 értékét továbbá az egy, illetve a két LED-del végzett mérés eredményei az **1. táblázatban** található. A mérési eredmények BC637-tel lettek felvéve, hasonló eredményt kapunk 2N2222-vel, illetve BC337-40 típusú tranzisztorral. A táblázatban található eredmények irányértékként szolgálnak.

Elkészítés

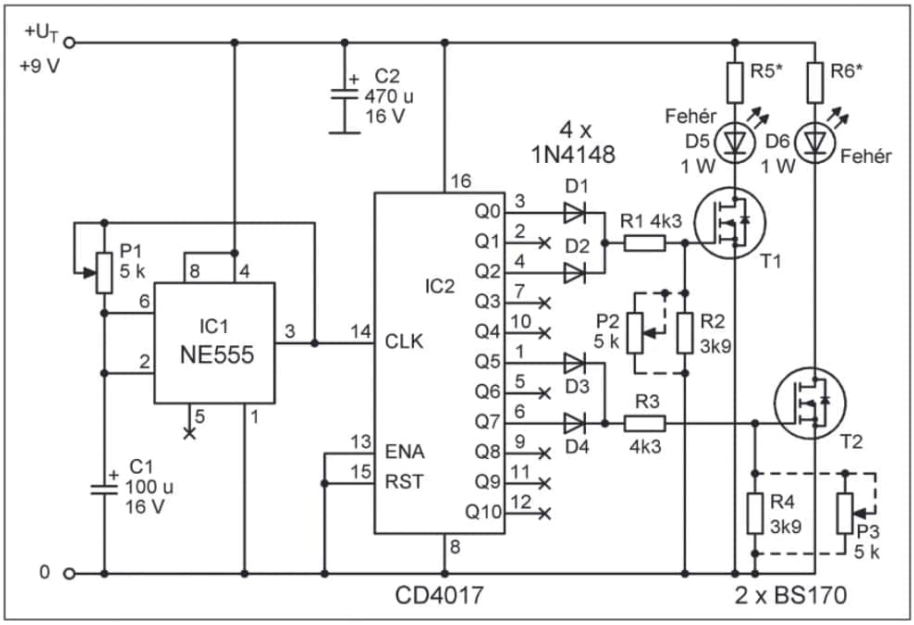
A 102×35 mm nagyságú nyomtatási rajz a **26. ábrán** látható. A teljesítmény villogó beültetési rajzát a **27. ábra** mutatja. A teljesítmény LED-eket Ø23 mm és 2 mm vastag alumínium hűtőlemezre forrasztottuk. R3 és R4 2 W-os huzalellenállás ±5% tűréssel. Ezeket a nyák síkjától kb. 2 mm-re forrasszuk be. A potenciométerek Piher vagy más gyártmányúak, miniatűr kivitelben. A kapcsolás többi eleméről az előző kapcsolásokban tettünk említést.

2. MOSFET-es

Működés

Ez a kapcsolási variáció megegyezik az előbbivel, csak a teljesítmény LED-e(ke)t árammal ellátó bipoláris tranzisztorok helyett MOSFET-eket használunk. Ennek megfelelően a kapcsolás is módosult.

A villogó elvi rajza a **28. ábrán** látható. Ismeretes, hogy a FET-es eszközök feszültségvezéreltek. Ennek figyelembevételével R1-R2, valamint R3-R4 feszültségosztót úgy méreteztük, hogy a gate-eken mintegy +4 V feszültséget mérjünk 9 V tápfeszültség esetén. Ez a munkapont-beállítás megfelelő ahhoz, hogy elegendő fényerővel világítsanak a teljesítmény fénydiódák. Az áramkört fix és szabályozható kivitelben készítettük el. Az utóbbi megoldással kiküszöbölhetjük a FET-ek és a LED-ek paraméterszórását, továbbá lehetőség van az általunk kívánt áramérték beállítására. A típus kiválasztásakor a max. diódaáramot és a MOSFET disszipációs teljesítményét vettük alapul. Ez utóbbi paraméterre BS170-nél a Fairchild 830 mW-ot, míg az ON 350 mW-ot ad meg. Erre ajánlatos odafigyelni! Továbbá a gyártók az I_D áramot 500 mA-ben maximalizálják.



28. ábra

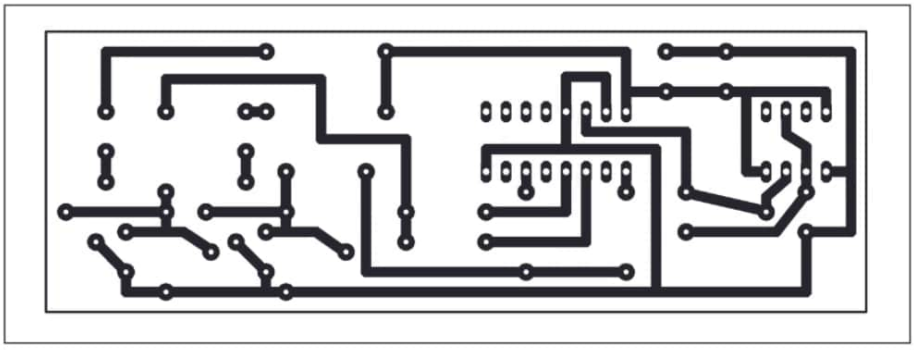
A mérési eredményeket itt a **2. táblázatba** foglaltuk. R5 és R6 ellenállások értékét úgy választottuk meg tápfeszültségtől és a fénydiódák számától függően, hogy U_{DS} munkaponti értéke a kimenő karakterisztika egyenes szakaszára essen. A mérési adatok támpontul szolgálnak.

Elkészítés

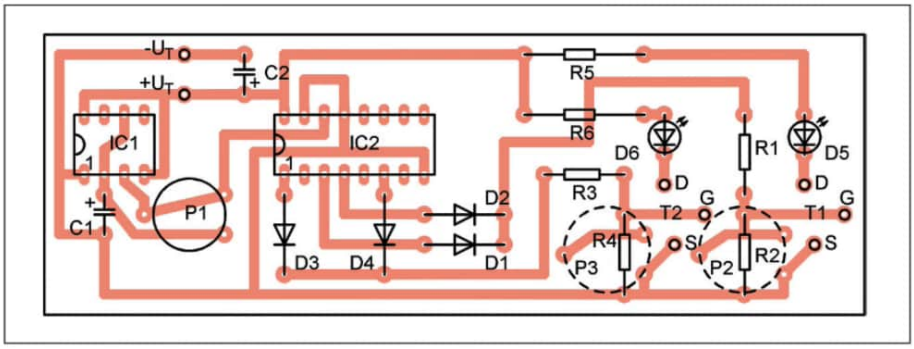
A teljesítmény villogó fóliarajzát a **29. ábra** mutatja, mérete megegyezik a 26. ábrán láthatóval. A beültetési rajz a **30. ábra** szerinti. A nyákot úgy terveztük, hogy alkalmas legyen mind fix (ellenállásos), mind szabályozható (potenciométeres) kivitelre. Az alkatrészekkel kapcsolatosakat lásd az előbbi változatnál leírtakat.

3. Integrált áramkörös

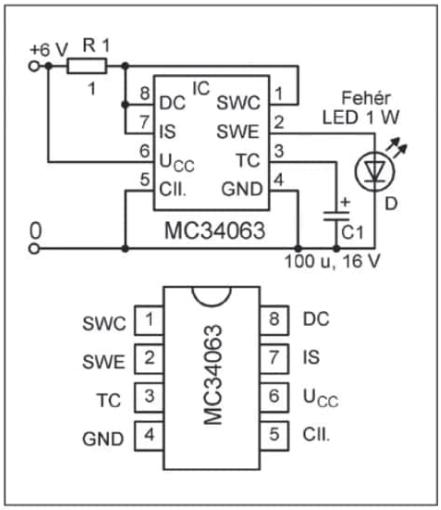
Működés



29. ábra



30. ábra

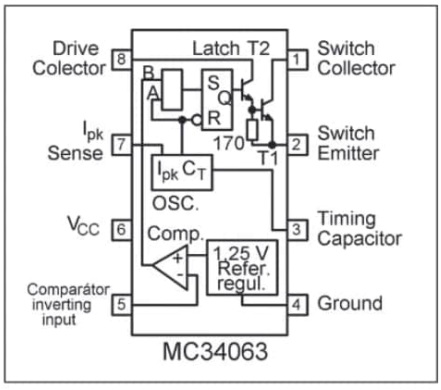


31. ábra

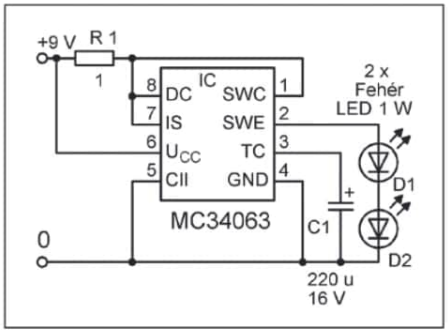
Itt a LED(-ek) meghajtására nem az univerzális NE555-öt használjuk, mert az maximálisan 200 mA-ig terhelhető. Teljesítmény LED-eknél ennél nagyobb áramra van szükség. Ezt problémát az ON Semiconductor gyártmányú MC34063 IC-jével oldottuk meg.

Az IC eredetileg DC-DC konverterekhez lett tervezve, de kis módosítással alkalmazható teljesítmény LED(-ek) meghajtására **(31. ábra)**. Az IC belső kapcsolását a **32. ábrán** látjuk. A tok tartalmaz: hőkompenzált feszültségreferenciát, komparátort, vezérelhető PWM oszcillátort, áramkorlátozást és egy Darlington-végfokozatot.

Visszatérve a 31. ábra kapcsolásához, egy ciklus kezdéséhez C1 időzítő kondenzátor töltődik és a LED árama gyorsan növekszik. A D fénydióda áramának nagysága az R1 ellenálláson eső feszültség figyelésével történik. Ha ez a feszültség nagyobb mint 300 mV (azaz az átfolyó áram nagyobb, mint 300 mA), akkor az áramkorlátot túllépve az oszcillátor a kimenetet blokkolja, a 2-es lábra kötött teljesítmény LED kialszik. C1 kisülése kezdődik és a kisütés után C1 újra kezd töltődni, és



32. ábra



33. ábra

az előbbi folyamat játszódik le. A kapcsolásban szereplő EF45W1 típusú, fehér fényű 1 W-os LED maximális árama a Huan Yuen adatlapja szerint 350 mA. A felvillanási időt C1 értékével tudjuk változtatni. C1 = 100 uF választásával a villogás frekvenciája kb. 1 Hz. A 31. ábra szerinti kapcsolásban kipróbáltuk a Honglitronic HL-EK4B3NAVS típusjelű, 3 W-os kék színű LED-jét is.

Ugyanez az integrált áramkör két fénydióda meghajtására is alkalmas a **33. ábra** szerint. Itt egy piros és egy kék, 3 W-os LED-et láncba kapcsolva U_t = 6 V-nak, R1 = 1 vagy 0,6 ohmnak (1 ohm paralel 1,5 ohmmal) választva a LED-eken átfolyó áramot az első esetben 300 mA-ben, utóbbinál 500 mA-ben limitáltuk. A piros LED szintén Honglitronic gyártmányú, HL-EH4R3NAVS típusjelzéssel. A gyártó adatlapja szerint az ajánlott maximális diódaáram 700 mA mindkét teljesítmény fénydiódára vonatkozóan. Változatlan elemértékek mellett az áramkör kb. 1 Hz-cel villog. Az MC 34063 1,5 A csúcsáram kapcsolására képes.

A 33. ábrán, a tápfeszültséget 9 V-ra állítva, egy fehér LED-sort (1 W) és egy kék (3 W) két tagú fénydiódát villogtatunk. Ha az időzítő kondenzátort 220 µF-nak választjuk, akkor a fénydiódák 3 másodpercre felvillannak és kb 1 másodpercig kialszanak. Az áramfigyelő ellenállás 1 vagy 2%-os fémréteg, 0,6 W terhelhetőséggel. A villogás frekvenciáját meghatározó kondenzátor tantál vagy elektrolit legyen.

Elkészítés

A kapcsolás egyszerűségénél fogva furatozott kísérleti panelon is elkészíthető, így nyákrajzot nem mellékelünk. A teljesítmény LED-eket a megfelelő hűtés érdekében hűtőlemezre kell forrasztani. A mintapéldány teljesítmény LED-jeit 23 mm átmérőjű, 2 mm vastag alumíniumlemezre forrasztottuk.

Befejezésképpen az áramkörök elkészítéséhez sok sikert és kellemes fény- effekteket kívánunk az alkalmi/ünnepi hangulat fokozásához!

Irodalom:

1. Google: Hardware - Projekte/ Elektronische Schaltung, Projekte, Elektoniken
2. Google: Sammelband zur professionellen Schaltungstechnik, Franzis
3. Google: LED Flasher Chaser Circiut - képtalálatok
4. Google: LED-Blinker für 1,2 V oder 1,5 V, diesmal ohne Spule
5. Google: Rendőrlámpa 2 IC-vel - BSS Elektronika
6. Google: MC34063 adatlapja
7. Google: HL-EK4B3NAVS adatlapja

A RÁDIÓTECHNIKA HAM-bazár egységcsomag-kínálata

VP1 varikappakk (6 db 2V110V, 2 db BB112, 6 db BB329, 8 db BB521).....700 Ft
ZP1 zenerpakk (70 db klf. Z-dióda, 2 V...120 V között).....700 Ft
FP1 FET-pakk (10 db 2SK168D, 5 db J211A, 3 db J202, 2 db BF247A).....1500 Ft
MP1 MOSFET-pakk (6 db BF961, 6 db BF964, 6 db BF982, 2 db IRF510, 2 db IRF640).....1400 Ft
TP4 tranzisztorpakk (60 db klf. npn, pnp Si és Ge kisteljesítményű).....900 Ft
TP5 tranzisztorpakk (140 db klf. npn, pnp Si és Ge kisteljesítményű).....1700 Ft
TP6 tranzisztorpakk (25 db klf. npn, pnp Si és Ge nagyteljesítményű).....1200 Ft
TP7 tranzisztorpakk (60 db klf. npn, pnp Si és Ge nagy teljesítményű).....2400 Ft
DAP1 darlingtonpakk (2 db BDX33C, 2 db BDX34C, 6 db BC516, 6 db BC517).....800 Ft

Budapest XIII., Dagály u. 11. I. emelet folyosóközép H-P. 09-14 ó., Cs. 09-17 ó. vagy postán, utánvéttel
(+36 1) 239-4932/36 m. 239-4933/36 m. 1550 Bp., Pf. 123 www.radiovilag.hu hambazar@radiovilag.hu T4

A RÁDIÓTECHNIKA HAM-bazár egységcsomag-kínálata

LIC lineár IC-pakk (30 db klf. lineár IC, pl. TDA1072, MC1458, TDA2030, TDA3420).....1200 Ft
SCRP tirisztorpakk (2 db BT152-800R, 4 db KT206/200, 5 db KT505, 4 db MCR100-8.....1500 Ft
SP1 SSR-pakk (3 db 240 V/25 A AC, bontott Siemens v. CRYDOM szilárdtest relé).....6000 Ft
OP1 opto-pakk (60 db klf. optoalkatrész, dióda, 7-sz. kijelző, tranzisztor, érzékelő)..... 1000 Ft
XP1 xtalpakk (1-1 db 7020, 7040, 7060, 7080 kHz-es HC49/S kvarc).....1000 Ft
XP2 xtalpakk (1-1 db 3, 4, 5, 6, 8 MHz-es és 20 db vegyes értékű HC49/U kvarc).....1200 Ft
XP3 xtalpakk (1-1 db 8, 12, 14, 15, 25 MHz-es és 20 db vegyes értékű HC49/U kvarc).....1200 Ft
Zsákbamacska extra (príma mix aktív és passzív alkatrészekből) .....2000 Ft

Budapest XIII., Dagály u. 11. I. emelet H-P. 09-14 ó., Cs. 09-17 ó. vagy postán, utánvéttel
(+36 1) 239-4932/36 m. 239-4933/36 m. 1550 Bp., Pf. 123 hambazar@radiovilag.hu X3

A HAM-bazár kínálatából...

...érdekességek. – Aktuális árak és a teljes lista a www.radiovilag.hu honlapon.

ÁFÁ-s árak! – Árak a típusnál közölt db-számokra vonatkoznak. – Az árváltoztatás joga fenntartva!

ELEKTRONCSŐ FOGLALATOK	Ft
2A3, 300B, 811A kerámia	2 900
4S040T, QB3,5/700 GIANT ker.	4 900
Anódsapka 811, 813, 572B, OS125/2000-hez, kerámia	890
EURO4, 4-lábú régi csövekhez (pl. L414)	1 200
EURO5 kerámia, nem nyák-ba	1 600
GK71 kerámiafoglalat	2 900
MAGNOVÁL kerámiafoglalat (PL509), nem nyák-ba	1 100
NOVÁL kerámia, nem nyák-ba	790
NOVÁL kerámia, nyák-ba	790
OKTÁL kerámia (EL34, 6L6), nem nyák-ba	990
OKTÁL kerámia (EL34, 6L6), nyák-ba	990
OS125/2000, 803 kerámiafogl. + ker. anódsapka	3 400
OS51, 6SZ33SZ kerámiafoglalat	1 900
RIMLOCK kerámiafoglalat (ECC40, EL41), nem nyák	790
UX-6 kerámia csőfoglalat	1 100

ELEKTRONCSÖVEK	Ft
108C1	2 000
12AT6	990
12BA6	2 500
12BE6	2 500
12SG7GT	1 500
19J6 (TUNGSRAM)	3 900
1L4	1 990
1P24B-V (mini, drótlábú RF pentóda)	890
1S5T	1 990
1T4T	1 990
1ZS24B (mini, drótlábú RF pentóda)	890
1ZS29B	890
2ZS27L	890
3S4T	1 990
3V4	1 990
4P1L	1 500
4ZS1L	990
5AR4 (=GZ34)	7 900
5C4SZ	3 990
5U4GB	6 490
6C5SZ	2990
6080 kettős trióda OTL HIFI-be	8 900
6A8G	2 900
6AC7	10 000
6AK5W (=5654W, Siemens)	4 900
6AK6	990
6AL5 vagy 6H2P	490
6AQ5 (=EL90)	2 900
6AQ5 párba válogatva (2 db)	6 000
6AT6	990
6AU6	2 600
6AV6 (=EBC91)	2 900
6BA6	1 500
6BH6 (RCA)	1 600
6CD6 (RSD)	4 200
6E5P	3 900
6F6SZ	3 900
6H6SZ	350
6K7G	1 500
6L6G vagy 6P3SZ	8 900
6L6G v. 6P3SZ párban (1 pár)	19 900
6L6GC párba válogatva (1 pár)	19 900
6L6GC qudba vál. (1 quad)	39 900
6N1P-VI	2 500
6N13SZ (=6080)	4 900
6N2P-EV orosz military ECC83	2 500
6N2P-EV vál. o. military ECC83	3 500
6N3P (=2C51, =5670)	1 500
6N8SZ (=6SN7)	5 900
6N9SZ (=6SL7)	4 990
6P1P	2 900
6P3SZ-E hosszú élett. 6L6G	8 900
6P3SZ-E párba válogatva (2 db)	19 900
6SN7GT kifogyott	5 500
6X4	2 990
6ZS1P (=6AK5)	890
6ZS9P (E180F)	2 900
85A2	2 000
8737/5894B (Amperex, QQE06/40)	4 900
ACH1	4 900
AK1	3 300
AZ21	3 900
AZ4	4 100
CV2127 (Mullard)	3 600
DLL101	2 100
DY86	290
E180F	2 900
E236L párba válogatva (2 db)	8 900
E280F	4 900
E80CC	5 500
E81H	490
E81L	2 000
E83F	3 400
E88CC (JJ)	5 900
EA50 (Philips)	2 900
EAA901S	1 500
EABC80	2 900
EBC41	2 200
EBF80	2 200
EBF89	2 900
EBL21	4 900
EC360 végtrióda SE HIFI-be	7 900
EC81 (Philips)	4 000
ECC40	4 900
ECC803S	6 900
ECC81	5 300
ECC82	5 300
ECC83 (JJ)	5 100
ECC832 (=12DW7)	7 900
ECC85	3 500
ECC91	1 900
ECC960	2 200
ECF80	2 900
ECF82	2 900
ECH21	3 600
ECH42	1 600
ECH81	2 900
ECH84	250
ECL80	1 500
ECL82	4 900
ECL85 (6F5P)	3 500
EF183	2 000
EF184	2 000
EF22	2 500
EF40	3 900
EF42	1 200
EF80	890
EF83 (Philips)	3 400
EF85 (HM, katonai)	1 200
EF91 (=6AM6)	1 200
EL34	7 900
EL34 párba válogatva (2 db)	15 900
EL34 quartettbe válogatva (4 db)	31 900
EL504	4 900
EL504 párba válogatva (2 db)	9 900
EL508 (Philips)	4 900
EL803S (Telefunken)	4 900
EL81 (Mullard)	3 000
EL84 vagy 6P14P-EV	5 900
EL84 (=6P14P-EV) párban (2 db)	11 900
EL84 v. 6P14P-EV quadban (4 db)	23 900
EM84 v. 6E2P kifogyott	8 000
EY51	1 600
EY86	590
EZ2/3	4900
EZ4	3 400
EZ40	3 400
EZ80	4 900
EZ81	5 900
GI15B	1 900
GSZ24B	4 900
GU17 (=QQE03/12)	2 000
GU32B	1 969
GU50	1 990
GU50 bontott	990
GU81M + kerámiafogl	24 900
IV17	2 900
KT66 párban (2 db) rendelésre	36 990
KT66 quartett (4 db) rendelésre	73 990
LD8035E	1 900
OS51	12 700
PCF200	590
PCF201	590
PCF801	590
PCF802	590
PCL81	990
PCL84 (Siemens)	990
PCL84 (Siemens) 100 db!	49 000

Megvásárolhatók személyesen:

Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H-P. 09-14 ó., csüt. 09-17 ó. Vagy postán, rendelésre: 239-4932/36 m. 239-4933/32 m. 1550 Bp. Pf. 123 hambazar@radiovilag.hu

Minimális postai ALKATRÉSZ-rendelés: 5 000 Ft + postaköltség!

ek22 1

A HAM-bazár kínálatából...

...érdekességek. – Aktuális árak és a teljes lista a www.radiovilag.hu honlapon.

ÁFÁ-s árak! – Árak a típusnál közölt db-számokra vonatkoznak. – Az árváltoztatás joga fenntartva!

ELEKTRONCSÖVEK	Ft
PCL86	3 900
PFL200	1 200
PL36	1 900
PL500	2 000
PL504	4 900
PL504 párban (2 db)	9 900
PL509	4 900
PL509 párban (2 db)	9 900
PL81	990
PL84	3 900
PV200/1000	3 200
PV200/600	3 200
PY83	2 900
QEL1/150	5 900
QQE02/5	1 900
QQE03/12 (=GU17)	2 000
QQE03/20	2 900
QQE06/40	4 900
UABC80	2 200
UBC81	1 200
UBF89	1 400
UBL21	4 900
UCH42	1 200
UF41	890
UM80	3 900
UY1N	1 900
UY22	1 900
UY41	1 900
VR150 (=OD3, =SZG4)	1 490
VR75 (=OA3, =SZG2)	990
YL1130	2 000

DIÓDÁK	Ft
1D507A (Ge, 20 V/20 mA) - 5 db	100
1JK30 (Si, 3 kV/20 mA/) - 3 db	100
1N34A (60 V/50 mA) - 1db	100
1N4006 (800 V/1 A) - 24 db	100
1N4007 (1000 V/1 A) - 20 db	100
1N4148 (100 V/200 mA/4) - 30 db	150
1N4154 (35 V/100 mA/) - 40 db	150
1N5711 (70 V/15 mA/0,1 ns(!)	100
1N740A v. 1N5273 (Z, 120 V) - 4 db	100
1T32-T8 (VHF/UHF varikap) - 3 db	100
2A507A (Si, 100 V/0,1 A/200 GHz) - 5	5 000
2A517A (Si, szubmini, 75 GHz) – 2 db	1 000
2D103A (Si, 75 V/50 mA) - 5 db	100
2D204A (Si, 400 V/600 mA) - 20 db	100
2D204B (Si, 200 V/600 mA) - 8 db	100
2D510 (Si, 50 V/200 mA) - 10 db	100
2G401B (RH zajdióda) - 1 db	100
2SZ133A (Z, 3,3 V/10 mA) - 10 db	100
2SZ147A (Z, 4,7 V/10 mA) - 10 db	100
2SZ168A (Z, 6,8 V/10 mA) - 10 db	100
2SZ175ZS (Z, 7,5 V/4 mA) - 10 db	100
2SZ182ZS (Z, 8,2 V/4 mA) - 10 db	100
2V102ZS (varikap, 23,5 pF/4 V 11pF/80 V; Q=50 4 V/50 MHz) kifogyott	100
2V104D (varikap, 160 pF/4 V 76 pF/ /80 V; Q=100 @ 4 V/10 MHz) kifogyott	100
2V110V (varik. 22 pF/4 V 8,8 pF/45 V Q=300 @ 4 V/50 MHz) - 3 db	100
80SQ045 (45 V/8 A/>100 kHz)	150
BA157 (400 V/1 A; 250 ns) - 12 db	150
BA159 (1000 V/1 A; 250 ns) - 8 db	100
BA243 RF-kapcsoló - 40 db	150
BA283 VHF-k (35 V/100 mA) – 40 db	150
BA682 (35 V/0,1 A, m. MELF) - 10 db	100
BAS70–04 dual Schottky, SMD - 2 db	100
BAT41 (100 V/0,1 A, 2 pF, 5 ns) - 2 db	100
BAT54S dual Schottky, SMD - 4 db	100
BB112 varikap (470 pF/1 V)	150
BB133 SMD varikap (46 pF/0,5 V)	100
BB139 varikap (29 pF/3 V)	100
BB141A varikap (16 pF/1 V) - 3 db	100
BB221 V/UHF varikap - 1 db	100
BB329 (=BB529, 35 pF/1 V 2,9 pF/ /30 V) - 3 db	100
BB521 (17 pF/1 V, ~BB221) - 12 db	100
BB565 UHF varikap - 2 db	100
BBY39 dual varikap	200
BY134 (600 V/1 A) - 30 db	100
BY255 (1300 V/3 A) - 8 db	200
BY398 (400 V/3 A; 250 ns) - 10 db	190
BZV55C24 (SMD Z, 24 V/0,5W) – 10 db	100
D106 (Ge, általános haszn.)	100
D223 (50 V/50 mA) - 10 db	100
D814B (zener, 9 V/30 mA) - 10 db	100
D814G (zener, 11V/30 mA) - 10 db	100
D817V (zener, 82 V/50 mA) - 2 db	100
D818E (zener, 9 V/10 mA) - 10 db	100
D9B (~OA1160, 10 V/40 mA)	100
DB3 diak - 3 db	100
FDH400TR (200 V/0,2 A/50 ns/2 pF; DO-35) - 2 db	100
KBPC5010 graetz (1000 V, 50 A)	690
KD105B (400 V/0,3 A) - 300 db	600
MA2560 (56 V/1 W, zener) - 2 db	100
MPN3700 (PIN, 200 V, TO–92)	100
N125 (Si, univ. kapcsoló) - 30 db	150
OA1154	100
OA1180 aranytűs	100
RB441Q-40 (Sch. 40 V/0,1 A) - 10 db	100
RGP10G (400 V/1 A, 150 ns) - 8 db	100
Z200 (zener, 200 V/5 mA) - 4 db	100
ZP1 zenerpakk (70 db klf. Z-dióda, 2 V...120 V értékűek)	700
ZPD12 (zener, 12 V) - 10 db	100
ZPD17 (zener, 17 V) - 10 db	100
ZPD33 (zener, 33 V) - 10 db	100
ZPD6,2 (zener, 6,2 V) - 10 db	100
ZPD8,2 (zener, 8,2 V) - 10 db	100
ZTE2 (2 V-os zener) - 10 db	100
ZX5,6 telj. Z (5,6 V, 12,5 W)	100
ZX8,2 telj. Z (8,2 V, 12,5 W)	100
ZY110 (zener, 110 V) - 4 db	100
~ZPD10 (zener, 10 V) - 10 db	100
~ZPD15 (zener, 15 V) - 10 db	100

TRANZISZTOROK	Ft
2N2218A (npn, 50 V/0,8 A) - 2 db	100
2N2222A (npn, 60 V/0,8 A/0,5 W, TO-92) - 4 db	100
2N2369 (npn, 40 V/0,5 A/500 MHz)	100
2N2904A (pnp, 60 V/0,6 A) - 2 db	100
2N2905A (pnp, 60 V/0,6 A)	100
2N2906A (pnp, 60 V/0,6 A/200 MHz) - 10 db	200
2N3055 (npn, 60 V/15 A/115 W, TO-3)	200
2N3375 (npn, URH adótr., 28 V-ra)	1 490
2N3375 bontott (npn, URH adó 28 V)	990
2N3553 (URH adótr., 28 V-os)	890
2N3632 (npn, URH adótr., 28 V-ra)	1 990
2N3632 bontott (npn, URH adó, 28 V)	1 490
2N3866 (npn, URH adótr., 28 V/1 W/ /400 MHz)	590
2N3904 (npn, 40 V/0,2 A/300 MHz) - 6 db	100
2N4091	490
2N5045 dual jFET (n-csat, 50 V/ /30 mA)	890
2N5109 (npn, 20 V/0,4 A/1,2 GHz)	390
2N6109 (pnp, 60 V/7 A/40 W)	100
2N6290 (npn, 60 V/7 A/40 W)	100
2N7002 (n, DMOS 60 V/110 mA SMD)	100
2N708 (npn, 15 V/0,2/300 MHz)	100
2SA1048 (pnp, 60V/0,15 A0,3 W/ /140 MHz, bontott) - 10 db	100
2SA476 (pnp, Ge, 18 V/10 mA/ /65 MHz)	100
2SC3153 (npn, 800 V/6 A/ /15 MHz/100 W)	250
2SC3298 (npn, 200 V/1,5 A/100 MHz/ /20 W)	150
2SC4043S (npn, 11 V/50 mA/ /3,2 GHz)	200
2SC4793 (npn, 230 V/1 A/100 MHz/ /20 W, szigetelt tok)	200
2SC5707-E	350
2SC680A (npn, 120 V/2 A/12,5 W)	100
2SD1005 (npn, 80 V/1 A/160 MHz, smd) - 3 db	
2SD1760 (npn, 50 V/3 A/ 90 MHz/ /15 W, D-Pack)	100
2SD1803 (npn, 50 V/5 A/180 MHz/ /20 W, TO-251)	150
2SK168D jFET, RF-re (n-csat.)	100
2SK241 MOSFET (n-csat, 20 V/ /14 mA,10 mA/V, N=1,7 dB, VHF-re, bontott) - 10 db	200
2T904A (~2N3375, URH adótr, 28 V-ra)	1 490
2T904A bontott (~2N3375, URH adótr., 28 V-ra)	990
2T931A (URH adótranz., 28 V-ra)	3 900
2T950A (RH adótranz., 28 V-ra)	2 490
2T955A (npn, 20 Wki 30 MHz/28 V)	1 490
AC187 (npn, Ge, 24 V/1 A/1 W)	100
AFY12 (pnp, Ge, 18 V/10 mA/230 MHz)	100

Megvásárolhatók személyesen:

Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H-P. 09-14 ó., csüt. 09-17 ó. Vagy postán, rendelésre: 239-4932/36 m. 239-4933/32 m. 1550 Bp. Pf. 123. hambazar@radiovilag.hu

Minimális postai ALKATRÉSZ-rendelés: 5 000 Ft + postaköltség!

ek22 2

A HAM-bazár kínálatából...

...érdekességek. – Aktuális árak és a teljes lista a www.radiovilag.hu honlapon.

ÁFÁ-s árak! – Árak a típusnál közölt db-számokra vonatkoznak. – Az árváltoztatás joga fenntartva!

TRANZISZTOROK	Ft
ASZ15	600
BC122 (npn, Si, 20 V/75 mA/ /250 MHz/F=2,5 db) - 4 db	100
BC160 (pnp, 40 V/1 A/3,7 W/ /100 MHz)	100
BC161 (pnp, 60 V/1 A/3,7 W/ /100 MHz)	100
BC182B (npn, 50 V/0,1 A/150 MHz) - 5 db	100
BC212B (pnp, 50 V/0,1 A/200 MHz) - 5 db	100
BC250 (pnp, 20 V/0,1 A/180 MHz) - 5 db	100
BC301 (npn, 60 V/1 A)	100
BC303 (pnp, 60 V/1 A)	100
BC304 (pnp, 45 V/1 A) - 2 db	100
BC308B (pnp, 25 V/0,1 A/130 MHz) - 20 db	100
BC327-40 (pnp, 40 V/0,5 A/100 MHz, TO–92) - 6 db	100
BC328-40 (pnp, 25 V/0,8 A/100 MHz/ /0,625 W, TO–92) - 12 db	100
BC516 (pnp, darl. 30 V/0,5 A) - 2 db	100
BC517 (npn, darl. 30 V/0,5 A) - 2 db	100
BC546B (npn, 65 V/0,1 A/300 MHz, TO–92) - 5 db	100
BC547C (npn, 45 V/0,1 A/300 MHz, TO–92) - 5 db	100
BC548B (npn, 30 V/0,1 A/300 MHz, TO–92) - 5 db	100
BC557C (pnp, 45 V/0,1 A/150 MHz, TO–92) - 5 db	100
BC559C (pnp, 30 V/0,1 A, F=0,5 dB, TO–92) - 5 db	100
BC639 (npn, 80 V/1 A, 200 MHz, TO–92) - 3 db	100
BC640 (pnp, 80 V/1 A, 200 MHz, TO–92) - 3 db	100
BCY58 (npn, 32 V/0,2 A) - 1 db	100
BCY78 (pnp, 32 V/0,2 A) - 6 db	100
BD138 (pnp, 60 V/1,5 A/12 W/ />50 MHz) - 3 db	100
BD139 (npn, 80 V/1,5 A/12 W/ >50 MHz) - 2 db	150
BD140 (pnp, 80 V/1,5 A/12 W/ >50 MHz) - 2 db	150
BD166 (pnp, 45 V/1,5 A/6 MHz/ /20 W) - 6 db	150
BD238 (pnp, 100 V/2 A/25 W) - 3 db	100
BD239C (npn, 100 V/2 A) - 1 db	200
BD242A (pnp, 60 V/3 A/40 W) - 2 db	100
BD243C (npn, 100 V/6 A/65 W)	120
BD244 (npn, 45 V/6 A/65 W) - 3 db	100
BD244A (pnp, 60 V/6 A/65 W) - 2 db	100
BD244B (pnp, 80 V/6 A/65 W) - 2 db	120
BD244C (pnp, 100 V/6 A/65 W)	150
BD246 (pnp, 60 V/10 A/80 W)	80
BD246B (pnp, 80 V/10 A/80 W)	100
BD249C (npn, 100 V/25 A/125 W)	350
BD250C (pnp, 100 V/25 A/125 W)	350
BD329 (npn, RH adótranzisztor)	300
BD433 (npn, 22 V/4 A/36 W) - 4 db	190
BD438 (pnp, 45 V/4 A/36 W/3 MHz) - 2 db	100
BD536 (pnp, 60 V/8 A/50 W/12 MHz)	100
BD809 (npn, 80 V/10 A/90 W, TO–220	200
BD810 (pnp, 80 V/10 A/90 W, TO–220	200
BD901 (npn, darl, 100 V/8 A/1 MHz)	100
BDX33C (npn, darl., 100 V/10 A/ /70 W, TO-220)	100
BDX34C (pnp, darl., 100 V/10 A/ /70 W, TO-220)	100
BDY12 (npn, RH adótranzisz.) - 3 db	490
BF247A jFET (n-cs., 25 V, V/UHF-re)	100
BF256B jFET (n-csat., 30 V, UHF-re)	150
BF257 (npn, 160 V/0,1 A) - 2 db	100
BF679 (pnp, 40 V/0,03 A/850 MHz) - 3 db	100
BF680 (pnp, 35 V/0,03 A/160 mW/ /750 MHz) - 10 db	100
BF961 (dual-gate MOSFET, n-csat., RF) - 2 db	100
BF964 (dual-gate, MOSFET, n-csat., RF) - 2 db	100
BF970 (pnp, 35 V/0,03 mA/ /1000 MHz) - 6 db	100
BF982 (dual-gate, MOSFET, n-csat., RF) - 2 db	100
BFJ50 (npn, ~BC300) - 2 db	100
BFR93A (npn, SMD, 12 V/35 mA/ /6 GHz) - 3 db	200
BFR94 (npn, 25 V/0,15 A/3,5 GHz/ /3,5 W)	990
BFR96TS (npn, 15 V/0,1 A/5 GHz; TO–50)	100
BFW30 (npn, 10 V/50 mA/1,8 GHz/ /0,25 W, TO–72)	100
BFY33 (npn, 24 V/0,5 A)	100
BFY46 (npn, 30 V/0,5 A)	100
BFY70 (npn, 60 V/1 A; 28 V/175 MHz/ /Pout=1,5 W)	390
BFY90 (npn, 15 V/25 mA/1,8 GHz/ /0,2 W, TO–72)	100
BS170 (n, MOSFET, 60 V/0,5 A/ /0,8 W/1,8 ohm; TO-92) - 2 db	100
BSX32 (npn, 40 V/1 A/300 MHz/0,8 W, TO–39) - 2 db	100
BU323A (npn, darlington, 400 V/10 A/ /175 W, TO–3)	250
BU326A	250
BUT56A vagy ON4213 (npn, 1000 V/ /8 A/100 W/10 MHz)	250
BUY18S (npn, 200 V/7 A/50 W/ /50 MHz)	290
BUZ11 (n, MOSFET, 50 V/30 A/75 W/ /0,04 ohm)	200
BUZ71A (n, MOSFET, 50 V/13 A/ /40 W/0,12 ohm)	150
FQP630 (n, MOSFET, 200 V/9 A/ /80 W/0,4 ohm)	200
IRF510 (n, HEXFET, 100 V/5,6 A/ /0,54 ohm, RH végfokba jó) - 2 db	250
IRF520 (n, HEXFET, 100 V/9,2 A/ /0,27 ohm, RH végfokba jó)	200
IRF530 (n, HEXFET, 100 V/14 A/ /0,16 ohm, RH végfokba jó)	200
IRF640 (n, MOSFET, 200 V/18 A/ /140 W/0,18 ohm)	250
IRFP150 (n, MOSFET, 100 V/ /40 A/0,055 ohm)	200
IRFP250 (n, MOSFET, 200 V/ /30 A/0,085 ohm)	250
IRL540N (n, MOSFET, 100 V/ /36 A/140 W/0,044 ohm)	290
IRLL014N (n, MOSFET, 55V/2 A/ /0,14 ohm; SMD)	100
J211A jFET (n-csat., 25 V/20 mA, HF/VHF-re, TO-92)	100
KSC815Y (npn, 45 V/0,2 A/0,4 W/ /200 MHz) - 6 db	100
KT903A (npn) - 1 db	100
KT922A (npn, 175 MHz/7 Wki/ /28 V, adótr.)	1 490
KTD863 (npn, 60 V/1 A/1 W/ /150 MHz) - 5 db	100
MJE243 (npn, 100 V/4 A/15 W, 40 MHz)	150
MJE253 (pnp, 100 V/4 A/15 W, 40 MHz)	150
MJE3055 (npn, 70 V/10 A/90 W)	200
MJL21193 (pnp, 250 V/16 A/200 W, 4 MHz)	1 700
MJL21194 (npn, 250 V/16 A/200 W, 4 MHz)	1 700
MM8009 (npn, V/UHF adótr.)	790
MP14B (pnp, Ge hangfrekv.)	200
MP26A (pnp, Ge hangfrekvenciás)	200
MP42B (pnp, Ge hangfrekv.)	100
MPSA42 (npn, 300 V/0,5 A, TO–92) - 2 db	100
MPSA92 (pnp, 300 V/0,5 A, TO–92) - 2 db	100
OC1044 (Ge, RF)	500
OC1074 (Ge, HF)	500
P210B	400
P214B	400
P217B	400
SLA5054 (n, 3 × 2 db, közös source-ű MOSFET-ből álló modul)	390
STP16NE06 (n, MOSFET, 60 V/16 A/ /60 W/0,1 ohm, TO–220)	150
TIP2955 (pnp, 60 V/15 A/90 W)	200
TIS75 jFET (30 V, ált., TO-92) - 2 db	100
TP4 tranzisztorpakk (60 db klf. npn, pnp, Si és Ge kisteljesítményű)	900
TP5 tranzisztorpakk (140 db klf. npn, pnp, Si és Ge kisteljesítményű)	1 700
TP6 tr.pakk (25 db klf. npn, pnp Si és Ge nagyteljesítményű)	1 200
TP7 tr.pakk (60 db klf. npn, pnp Si és Ge nagyteljesítményű)	2 400
U404 duál jFET	790

Megvásárolhatók személyesen:

Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H-P. 09-14 ó., csüt. 09-17 ó. Vagy postán, rendelésre: 239-4932/36 m. 239-4933/32 m. 1550 Bp. Pf. 123. hambazar@radiovilag.hu

Minimális postai ALKATRÉSZ-rendelés: 5 000 Ft + postaköltség!

ek22 3

A HAM-bazár kínálatából...

...érdekességek. – Aktuális árak és a teljes lista a www.radiovilag.hu honlapon.

ÁFÁ-s árak! – Árak a típusnál közölt db-számokra vonatkoznak. – Az árváltoztatás joga fenntartva!

TIRISZTOR, TRIAK, PUT, SSR	Ft
2U208G triak (400 V/5 A, orosz, fémházas, ø6 mm-es csavarral)	250
BT136-800E triak (800 V/4 A érzékeny kapus)	150
BT138-800 triak (800 V/12 A; TO–220)	290
BT139-800 triak (800 V/16 A; TO–220)	290
BT151-800 tirisztor (800 V/12 A; TO–220)	250
BT152-800 tirisztor (800 V/20 A; TO–220)	300
DB3 diak - 3 db	100
KT206/200 tirisztor (200 V/3 A)	150
KT505 tirisztor (400 V/1 A, TO-39)	100
MAC97A8 triak (600 V/0,6 A, TO-92)	100
MCR100–8 tirisztor (600 V/0,8 A, TO-92) - 3	200
MCR22–8 tirisztor (600 V/1,5 A, TO-92)	100
TIC47 tirisztor (200 V/0,6 A, TO-92) 2 db	100
2N6027 PUT (40 V/0,3 W, TO-92) - 3 db	200
CRYDOM D2425 SSR (bontott, 240 V AC/25 A AC, 3-32 V DC)	1 990

INTEGRÁLT ÁRAMKÖRÖK	Ft
153UD2 (=LM301, orosz, military)	450
2708 (EPROM)	990
741PC (op. amp., 8-lábú DIP) - 3 db	200
7805CT (+5 V/1,5 A stab., TO-220) - 3 db	150
7812CV (+12 V/1,5 A stab., TO-220) - 2 db	150
7824CV (+24 V/1,5 A stab., TO-220) - 2 db	150
78L05ACZ (+5 V/0,1 A stab., TO-92) - 2 db	100
78L12 (+12 V/0,1 A stab., TO-92) - 2 db	200
7905CV (–5 V/1,5 A stab., TO-220) - 2 db	150
7905KC (–5 V/1,5 A, TO–3)	100
7912 (–12 V/1,5 A stab., TO-220) - 2 db	150
79L24 (–24 V/0,1; A TO-92) - 2 db	150
A244D (=TCA440)	990
A270D (=TBA970) - 2 db	100
A290D (MC1310) szter.dekóder - 2 db	100
AD581TH (szuper prec. 10 V-os referencia IC)	1 000
AN6884 (5 LED-es logaritmikus szint-kijelző)	990
BA1404 IC + 38 kHz pilot kvarc	1 290
C81A/CTV972	290
CD4001 (4×2 bemenetű NOR) - 4 db	200
CD40106 (6×INV, Schmitt-tr.)	200
CD4011 (4×2 bemenetű NAND) 4 db	200
CD4016 (quad kapcsoló) - 3 db	200
CD4017 (Johnson számláló) - 3 db	200
CD4060 (oszc. + 14 tagú bin, osztó) - 3 db	200
CD4066 (quad kapcsoló) - 3 db	200
CD4093 (4×2 bemenetű NAND, Schmitt-tr.) - 4 db	200
KA33VTA (33 V-os referencia IC, TO–92) - 4 db	100
KIA7442P - 3 db	200
LIC1 lineár IC pakk (40 db különféle lineár IC)	1 000
LM224 (4-es op. amp.) - 3 db	200
LM2904 (2-es op. amp., DIP–8) 4 db	200
LM2904 (dual op. amp., DIP-8) - 4 db	200
LM2940CT-15 (+15 V/1 A stab., 0,5 V/1 A dropout!) - 2 db	190
LM311 (komparátor, DIP8) - 4 db	200
LM317LMX (szabályozható stab. +1,2...37 V/0,1 A, 8–SOP) - 3 db	100
LM317T (szabályozható stab. +1,2...37 V/1,5 A, TO–220)	100
LM318 (gyors op. amp.)	300
LM324 (4-es op. amp.) - 4 db	200
LM329 (6,9 V-os söntszab.) - 3 db	200
LM331 (preciziós u/f átalakító)	350
LM338T (szabályozható stab. +1,2...32 V/5 A, TO–220)	490
LM339 (4-es komparátor) - 3 db	200
LM386M1 SMD (HF véger.)	100
LM386N-1 (HF végerősítő)	150
LM3914N-1 LED meghajtó IC	390
LM393 (duál komparátor, DIP-8) 4 db	200
LM78L12ACZ (+12 V/0,1 A stab., gründolt) - 2 db	100
LMC555CN (CMOS 555-ös, 8-lábú, plasztik) - 2 db	200
M51397AP	290
MA3005 (=CA3005, 0 ... 120 MHz AGC-zhető KF erősítő)	150
MAA501 (~µA709, TO-67, military op. amp.)	100
MAA748 (=uA748)	200
MAS560 (4 csat. szenzor) - 4 db	100
MB501LP (1,1 GHz-es 64/65, 128/129 előosztó)	990
MC14069UB (CMOS hexinv.) - 4 db	200
MC145413P (imp./DTMF tárcsázó)	250
MC1458 (duál op. amp., DIP8) - 2 db	100
MC2831AP (NBFM-adó)	290
MC33164 (Reset IC, bontott) - 4 db	190
MC3362P (NBFM vevő 200 MHz-ig)	990
MC34115 (CVSD mod/demod.) - 2 db	490
MC44BS374CA (tv-adó IC, SO-16)	490
MC78T05CT (5 V/3 A stab., TO-220)	200
MC78T05CT (5 V/3 A stabilizátor)	200
MM58348 (nagyfesz. kijelzővezérlő)	990
NE5532 (kiszajú, duál op.amp.) - 2 db	200
NE555 (timer) - 2 db	100
OPA2604A (BB)	990
SA612 (=NE612, kétsz. kiegy. kev. + oszc.)	790
SAA1350 (ITT)	590
SAA1351 (ITT)	590
SAA5012 (ITT)	590
SAS6700 (4-es szenzor vez.) - 3 db	100
SSM2166 (intelligens mikrofoner.)	1 990
TAA691 (FM KF erősítő és demod . + HF-előer.) - 2 db	100
TBA120S3 (FM KF erősítő és demod. + HF-előer.) - 2 db	100
TBA222 (=µA741 military) - 4 db	200
TBA810S (HF végerősítő)	490
TCA740	990
TDA1053 (PIN-diódás csillapító)	300
TDA1060 vagy B260D (kapcs. táp.)	490
TDA1072A (AM rádióvevő)	350
TDA1151 (magnómotor vezérlő, HE ´91/3.) - 2 db	100
TDA1220B (AM-FM rádióvevő)	490
TDA1524 (sztereó hangszín/hangerő szabályozó)	990
TDA1589 (KIRA dekóder) - 3 db	100
TDA2003 (10 W-os HIFI véger.)	200
TDA2030 (14 W-os HIFI véger.)	150
TDA3420 (duál, nagyon kis zajú bemeneti erősítő) - 3 db	200
TDA7294 (100 W, HIFI véger.) - 2 db	1 900
TDA7297 (2x15 W-os HIFI véger.)	490
TDB0137SP (=LM3375SP, –1,2 V...–37 V/1,5 A szab. stab.)	200
TDD1618S (~µA7818, +18 V/0,5 A stab. IC, Ube max = 26 V) - 3 db	200
TL062 (BiFET duál op. amp.) - 3 db	250
TL072 (kis zajú BiFET duál op. amp.)	100
TL074 (BiFET quad op. amp.) - 2 db	200
TL080 v. W080D (BiFET op.amp.) - 3 db	100
TL431 (2,5...36 V-os progr. Band-gap ref., HE ´01/2.) - 3 db	200
TL494CN (PWM IC)	200
TMP47C834N (mikrovezérlő tv-be)	1490
TS358CD - 3 db	100
TTL digitális IC egységcsomag (50 db vegyes IC)	990
U2343B (TFK, sztereodekóder) - 2 db	100
UA3065 (FM–KF) - 2 db	100
UA711 (duál komp., 2 × uA710)	100
UA715 (gyors op. amp.)	100
UA723 (stabilizátor)	300
UA777DC (prec. op. amp.)	150
UL1042 (=S042P, kétszeresen kiegy. kev. + oszc.)	790
UM3562 (hangeffekt generátor)	990
V40511D (7 szegm. LED-meghajtó, közöskatódos, VQE13-hoz jó)	100

RÁDIÓTECHNIKA HAM-bazár Elektronika Füzetek

Megvásárolhatók személyesen:

Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H-P. 09-14 ó., csüt.: 09-17 ó. Vagy postán, rendelésre: 239-4932/36 m. 239-4933/36 m. 1550 Bp. Pf. 123. hambazar@radiovilag.hu

Minimális postai ALKATRÉSZ-rendelés: 5 000 Ft + postaköltség!

ek22 4

GDO, újratöltve

Nagymáté Csaba villamosmérnök,
nmtecsaba@gmail.com

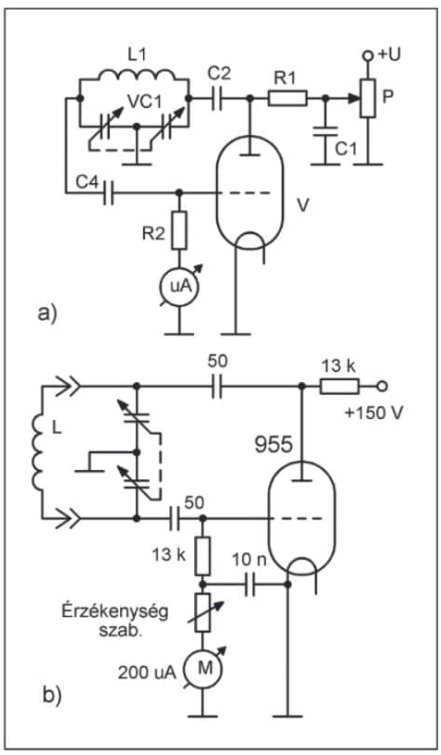
A dipmérő (eredeti nevén GDO, vagy GDM) a tesztelő berendezések azon darabja, melynek eredete az amatőr rádiózás korai időszakára nyúlik vissza. Dipmérőt könnyű (?) építeni, és használni. Rádiótechnikát kedvelők, művelők generációi ezerszám vásároltak, építettek kit-ből, vagy éppen csak kapcsolási rajz után ilyen alapvetésnek számító berendezéseket. Kicsit sántító hasonlattal élve úgy vagyunk ezzel, mint a focival: mindenki ért hozzá, mindenki igyekszik hozzátenni egy kicsit a történethez. Figyelembe véve a generációkon átívelő felhasználói tapasztalatot, a technikai fejlődés hozta konstrukciós szemléletváltozásokat, rengeteg ismeretanyag halmozódott fel ebben a témakörben (is). Enciklopédikus írásunk kiemelt célja tehát szemléletes példákon keresztül eligazodást nyújtani a mai kor felhasználójának ebben az információrengetegben. Másrészt konstrukciós szinten – egy adott vezérfonal mentén – be is mutatunk egy-egy érdekes megoldást. E tekintetben sem törekedhetünk az „utolsó csavarig" szintű ismertetésre, ahhoz a teljes évkönyv terjedelme kellene. Az is tény, hogy ma már kevesebben építenek elsődleges céllal ilyen készüléket, bár némely esetbe azért tartja „hadállásait". Mire is gondolhatunk ilyenkor? Reményeink szerint az a következő oldalakat végigolvasva kiderül!

Amatőrkörökben kitalálásának pillanatától (1947-től) ismert tény lett, hogy a „dipper" ugyan csak egy a sokfajta ellenőrző, vizsgálati műszerek közül, de önmaga egy egész sor más műszert képes pótolni, ha tudjuk, hogy mire és hogyan kell használni. Kérdésként vetődhet fel, hogy az előbbi megállapítás igaz-e napjaink „olcsó" és könnyen hozzáférhető műszerbeszerzési lehetőségei mellett is? Válaszunk ugyan felemás, mert pl. alkatrészértékek (kapacitás, induktivitás) meghatározásához az e műszer által kínált indirekt módszernél sokszor jobbak a digitális kéziműszerek (bár az induktivitásmérés azokban alkalmazott módszerének komoly korlátai vannak), de bizonyos területen, mint pl. antennamérés, tápvonalak elektromos hosszának megállapítása, modulált „szignálgenerátor" funkció stb., ha gyors és olcsó megoldást akarunk, akkor GDO! A vizsgálati oldalról nézve is vannak változások. A mérés tárgyát képező LC körök (pl. szűrők) keramikus szűrőkkel vagy más technológiával történő megvalósítása is elveszi a GDO kenyerét. Ezen emblematikus mérőeszköz túlélését segítheti még egyes jellemzőinek (kapcsolástechnikai) javítása, illetve a digitális világba történő átterelése. A dip-oszcillátor az amatőr műszerépítő leleményesség egy olyan megtestesítője, amit – a szerző erősen szubjektív megítélése szerint – elektroncsöves korszakbeli megalkotása óta nemigen múltak felül. Természetesen minden technológiai korszakváltáskor megújult kapcsolástechnikájában, méreteiben, de a törekvés az egyszerű és olcsó kivitelezésre a mai időkig megmaradt. Bizonyára már az elején feltűnt az olvasónak e készüléktípus többfajta elnevezése is: GDO, dip-oszcillátor, dipper, dip-méter, melyeket a szakirodalmi ajánlásoknak megfelelően a továbbiakban – ugyanarra a műszertípusra nézve – mi is felváltva használunk.

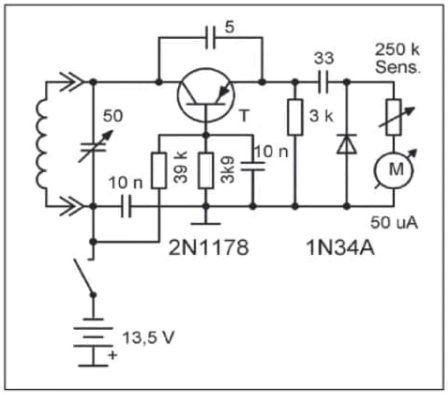
1. A GDO rövid fejlődéstörténete

Az eredeti *G*rid-*D*ip *O*szcillátor (Méter) elektroncsövet használt klasszikus Colpitts oszcillátor kapcsolásban, a rácskörében a mérőműszerrel. Méréskor egy külső rezonáns kör (lazán) csatolódik az oszcillátor rezgőköréhez, s ha a két kör rezonanciában van, úgy a rácsáram csökkenése következik be. Innen ered a műszer elnevezése. Ha a külső kör nagyjóságú, úgy ez a rácsáram-csökkenés rezonancia esetén különösen élesen jelentkezik. Az RF feszültséget a rács-katód dióda egyenirányítja, amely DC feszültség aztán közvetlenül táplálja az indikátor műszert. A GDO tipikus első megjelenési formáját az **1. ábra** mutatja. Történelmileg nehéz meghatározni, hogy mikor is mutatkozott be először publikációs szinten ez a népszerű amatőrműszer. Az elérhető adatok változnak földrészek, szaklapok, stb. szerint. *A HAM Radio 1981/8.* száma szerint a legrégebbi amatőr hivatkozás a grid-dip oszcillátorokra a *CQ magazin 1947/3. számában* fordul elő, bizonyos *Bud Bane* (W6WB) tollából. A szerző telepes működtetésű 3A5-ös csövet használt, s a készüléke a 80–10 m-es amatőrsávot fedte le. Ugyanakkor a *QST 1980/3. számában* az olvasható, hogy ez a lap már 1926-ban bemutatott egy korai változatot, mely az évek során számos konstrukciós változáson ment át. Bárhogy is volt, a tranzisztorok nagyarányú elterjedéséig a csöves technika uralkodott.

Amikor a tranzisztorok elérhetővé váltak, majdnem azonnal RF oszcillátorokban is alkalmazták azokat aktív elemként, s így persze a GDO-ban is. A készülék neve hivatalosan rövidülni kényszerült Dip-Méterre, a tranzisztornak nem lévén rács elektródája. (Az más kérdés, hogy a köznyelvi GDO elnevezés a mai napig

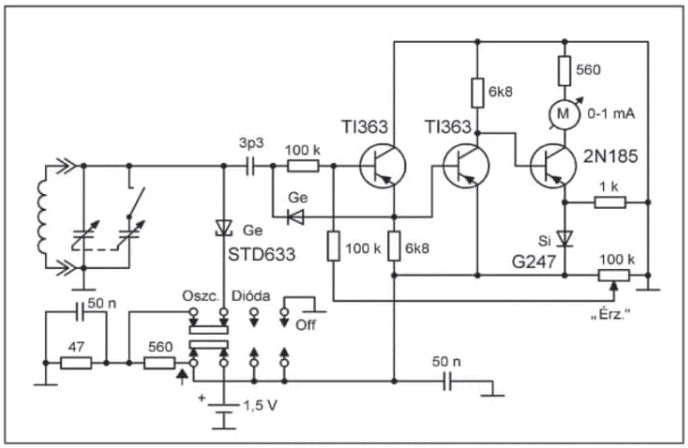


1. ábra



2. ábra

megmaradt.) Az új eszközzel nagyot fordult a világ e készülékfajta tekintetében is. A bipoláris tranzisztor (legyen az PNP, NPN struktúrájú) több tekintetben is különbözik az elektroncsőtől. A tranzisztor alapvetően áramvezérelt eszköz, azaz megfelelő bázisáram szükséges a kollektoráram szabályozáshoz. A GDO szempontjából pedig egy alacsonyimpedanciás eszköz, melynek a bázisába DC áram folyik, attól függően, hogy az oszcilláció fennáll-e, vagy sem. Ugyan a tranzisztor esetében a B-E átmenetet diódának tekinthetjük, de nem lehet analógiát felfedezni a rács-katód egyenirányítással, mert a bázisáram jelentős része a munkapontot állítja be, s ennek következménye pedig: nagyon érzékenység, s megbízhatatlan a bázisáram(-változás) dip-ként való indikálása.



3. ábra

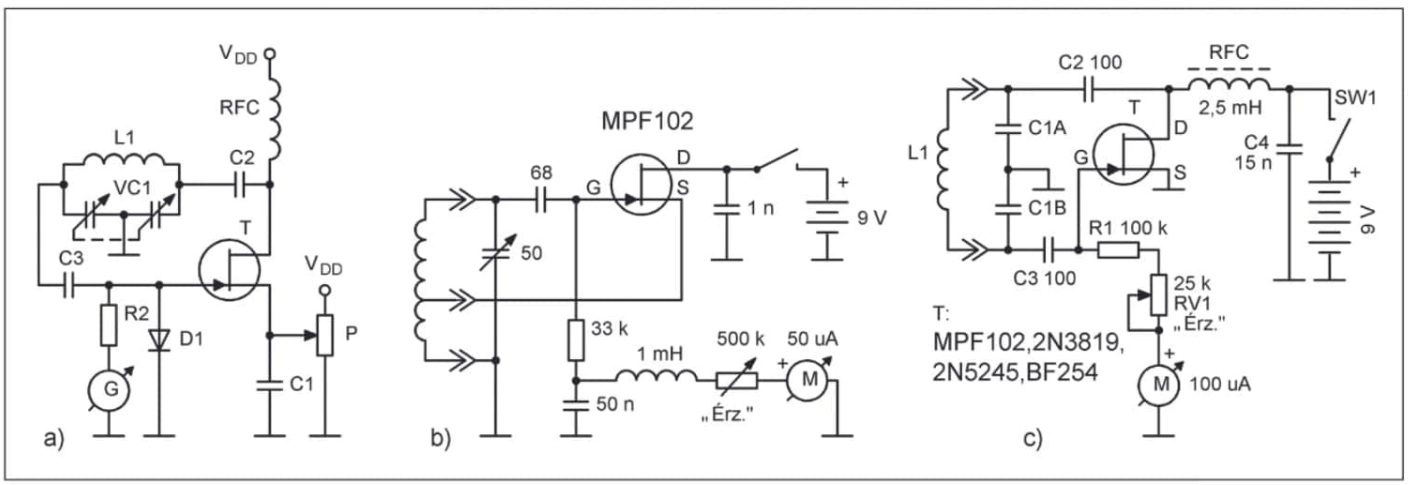
Így ha megfigyeljük, akkor szinte minden tranzisztorral készült dip-méter külön diódát használ detektorként az indikátor műszer DC táplálásához [1, 2], aminek szintén megvan a maga „nyűgje" (lásd később). Kezdetben germánium tűs diódákat használtak e célra (pl. 1N34A), amiket mára (ha ezt az áramköri struktúrát követjük) felváltotta a szilícium alapú Schottky-dióda. Egy kezdeti, Ge tranzisztoros kivitelt mutat a **2. ábra**. Egy időben az USA-ban kereskedelmi termékként elérhető volt a kétpólusú eszközzel, az *alagútdiódával* készült dip-méter (Heathkit HM-10-A modell). Ebben az esetben egy tunneldiódás oszcillátort alkalmaztak, s egy független általános célú dióda volt az RF detektor, amely a mérőmű DC áramát biztosította **(3. ábra)** Tekintettel a megoldás kuriózum jellegére, egy mai kornak megfelelő lambda diódás kivitelt külön konsrtukcióként is bemutatunk majd.

1.1. GDO JFET-ekkel

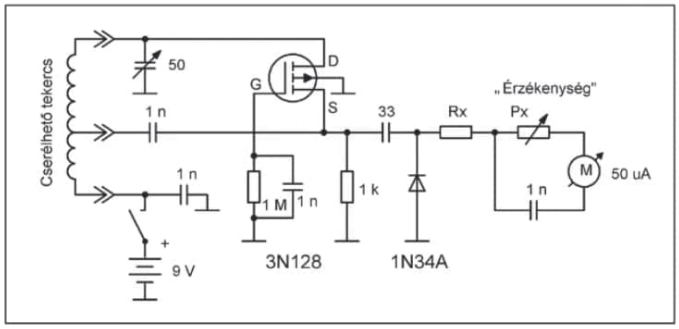
A jFET volt (s máig maradt) az a félvezetőeszköz, ami úgy viselkedik a dip-méterben, mint anno az elektroncső. Mi több, a (rövidített) neve is visszaváltozhatott GDO-ra, hiszen ez esetben *Gate-DIP Oszcillátor* (Meter) a találó elnevezés! Miként az elektroncső, úgy a jFET is feszültséget kíván a kapu (gate) elektródájánál a Drain áram (analóg módon az anódárammal) vezérléséhez, s annak G-S elektródája is megfeleltethető a valamikori rácsegyenirányításnak. Ezáltal egy sokkal alacsonyabb feszültségről működtetett N csatornás jFET betehető egy régi csöves kialakítású GDO triódájának a helyére – természetesen az „anódfeszültség" jelentős csökkentése után –, s az többnyire azonnal működőképes lesz [3]. A korai jFET-ek a felsőbb VHF tartományokra csak korlátozottan voltak alkalmazhatók, de a fejlődés ezen a téren is megoldást hozott. Az első lépés a 2N3821–2N3823 család (Texas Instruments) bevetése volt, majd sorra jelentek meg a korszerű, olcsón beszerezhető típusok. A **4. ábrán** alapkiépítésű, N csatornás jFET-tel megvalósított GDO megoldásokat láthatunk, különböző oszcillátortípusokkal (pl. ECO)megvalósítva [4], és a 4.c ábra áramköre kísérteties a hasonlóságot mutat az 1.b ábra áramkörével.

1.2. GDO MOSFET-ekkel

A MOSFET, szemben a jFET-tel, nem tartalmaz értelmezhető Gate-Source diódát, így itt is konstrukciós váltással találkozhatunk. Ugyanakkor elmondható, hogy már a kezdetekben jó néhány MOSFET-típus alkalmas volt az UHF tartományú műszer készítésére is. Az RCA, Motorola számos

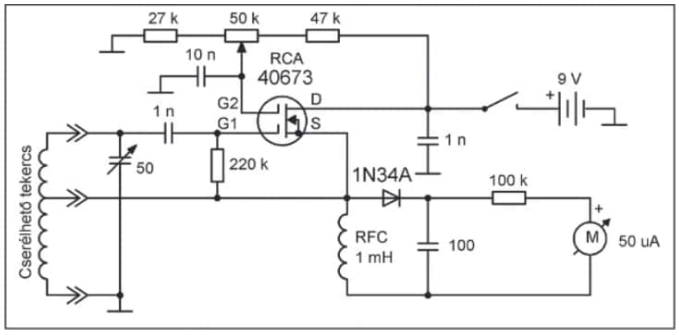


4. ábra



5. ábra

(kiürítéses technológiájú) N csatornás MOSFET-et tervezett televíziótunerek számára, ennélfogva már árában is kedvezőnek bizonyult dip-méter-ben való felhasználásra is, pl. az **5. ábra** szerint [5]. Mivel ez az eszköz nem tartalmaz G-S



6. ábra

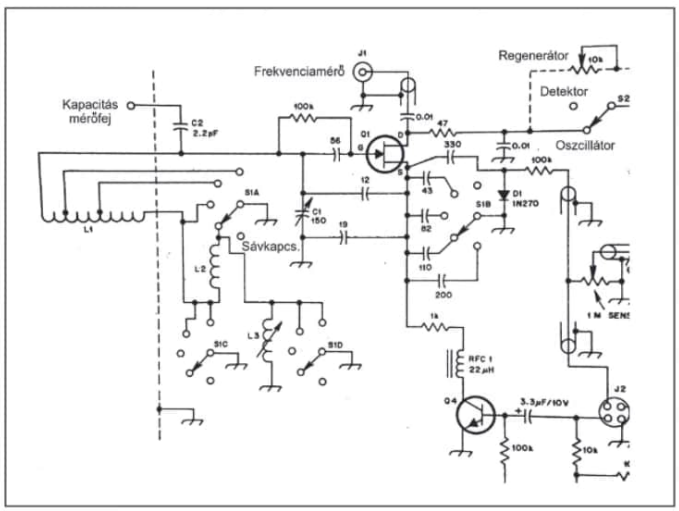
diódát, az RF egyenirányítást itt is egy külön diódával kell megoldani. A kétkapus MOSFET is jól alkalmazható dip-méterbe [6], s „bónuszként" a második kaput az oszcillációs szint (érzékenység) beállítására lehet felhasználni (**6. ábra**).

1.3. Egyéb műszaki megfontolások

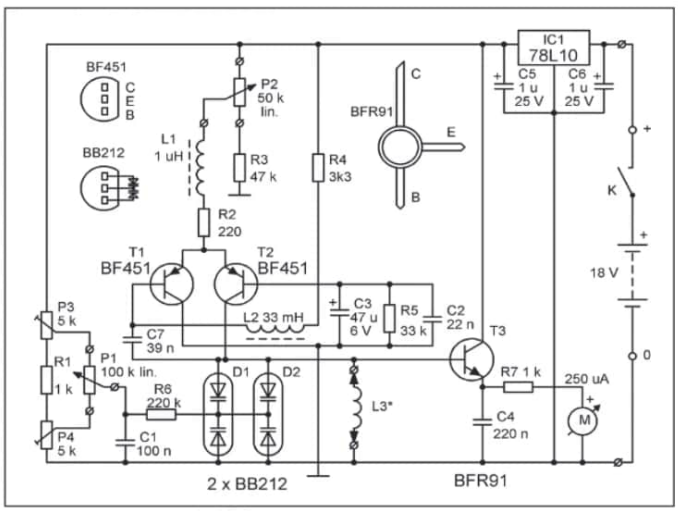
Az eddigi (1–6.) ábráinkon megfigyelhetjük, hogy az oszcillátortípusok tekintetében a Colpitts, és a Hartley megoldások egyaránt előfordultak. Mindkettő jól bevált, sőt egyéb kapcsolástechnika is elképzelhető, amire a 3. ábra mutatott is példát. A Colpitts-nak nagy előnye, hogy nem leágazásos tekercset használ, így igen kedvelt az amatőr építők körében. Ez annál is inkább kardinális kérdés, mert a készülékek tipikusan több sávban (= több tekerccsel) fogják át a megcélzott 1–2 dekádnyi átfogású működési frekvenciatartományt. És ezzel máris előjött a GDO-k működésének „Achilles sarka", a sávonként változó oszcillációs szint, ami még ráadásul sávon belüli (néha jelentős) szintingadozással is párosulhat. Az előbbi szinte törvényszerű, az utóbbi meg erősen függ a konstrukciós kialakítástól. Hangolás közben némi szintingadozás megengedett, de a gyors változások, vagy leszívási pontok semmiképpen nem tolerálhatók. A gyakorlati „idegőrlés" pedig az „érzékenység" potenciométer állandó utánállítása, ami a dip érzékelését akár el is lehetetleníti. Az e jelenségekkel szembeni küzdelem adja egyben a készülékek felépítési változatosságát is, hiszen a dip-méter használhatósága múlik rajta!

Lehetséges pl. cserélhető tekercsek nélkül is (persze egy tekercs azért kell) GDO-t készíteni. Bizonyos *Fred Brown* 1966-ban és 1980-ban publikált [7, 8] kontrukciójának idevágó részletét a **7. ábrán** mutatjuk. Látható, hogy az oszcillátorkialakítás csak „erős idegzetűeknek" ajánlott, de ez is egy járt út. A szerző kinyilvánítása szerint ez a megoldás figyelemre méltóan egységes az érzékenység tekintetében. Az indikátorműszer szintingadozása csak ±15% a teljes frekvenciatartományban (ami itt 0,8…57 MHz). Ezen példán túlmenően elmondhatjuk tehát, hogy minden modernkori megvalósítás is nagymértékben törekszik az „Achilles sarok" rémálmának megszüntetésére.

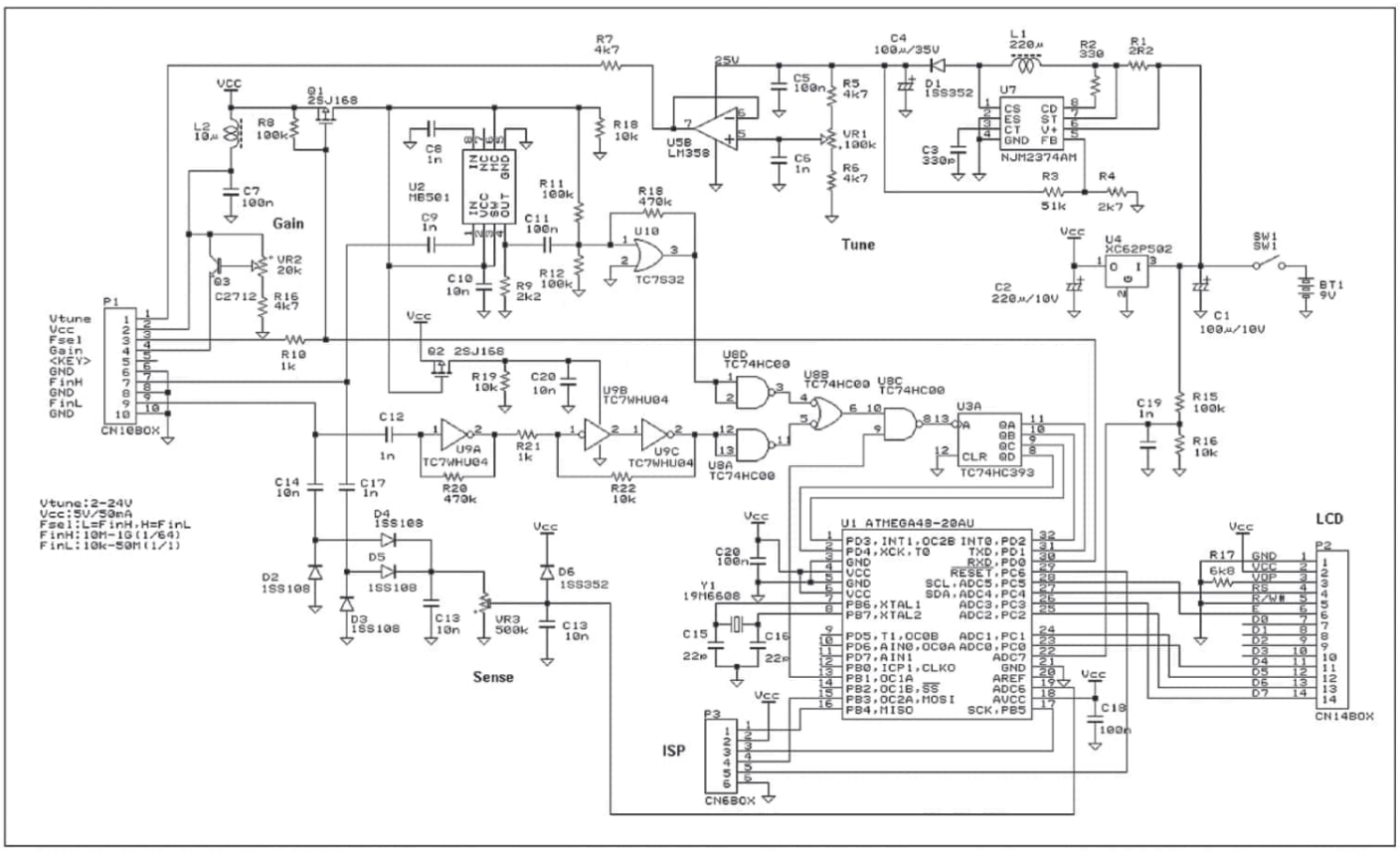
További változatos képet mutat a készülékek szolgáltatásainak eltérő volta. Itt gondolhatunk pl. a beépített hanggenerátorra, a modulálhatóságra, keverőegységre a heterodin frekvenciaméréshez, stb. Ez összefüggésbe hozható az elektronika miniatürizálódásával is, amit a GDO-k sem kerülhettek el. Persze így lassan kicsúszik az amatőr építők kezéből a dolog, de szerencsére sokrétű szolgáltatást lehet becsempészni még a hagyományos készüléképítési technológiával is. Először lehetségessé vált a hagyományos forgókondenzátorok – mint hangolóelemek – kiváltása a kapacitásdiódákkal (másképpen varikapokkal, varaktorokkal; **8. ábra**). Ugyanerre a [12] mutat hazai példát. A nagy kézügyességet, s műszerezettséget igénylő skálakészítés is elmaradhat, ha beépített frekvenciamérőt használunk. Ez utóbbi ma már mikrokontroller-vezérelt kivitelt feltételez, ami apró méretet is jelent. Még ez utóbbi kivitelezése is be-



7. ábra



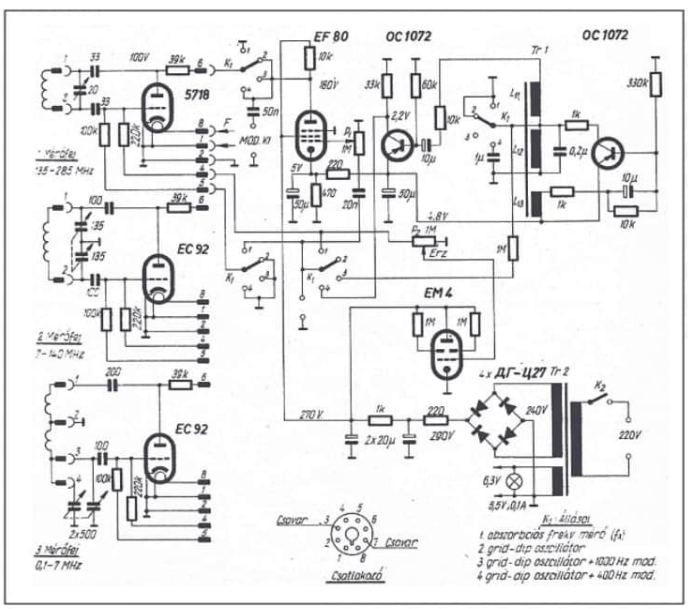
8. ábra



9. ábra

lefér az átlagos amatőr megvalósíthatási kategóriába. Erre a megoldásra a *Rádiótechnika* is közölt néhány megoldást.

Jelen állás szerint pedig a mikroszámítógép beépülése a dip-méterbe jelenti a fejlődés következő állomását. Egy lehetséges elv szerint a varikap jelét (feszültségét) fűrészjellel kombináljuk, amit persze a mikrokontroller állít elő. Aztán az oszcillátor kimeneti DC jelét egy A/D konverter dolgozza fel, amit többnyire a kontroller csipjén integráltak. A program pedig képes érzékelni a dipnél jelentkező minimális detektált feszültséget (ahol a DC meredekség a negatív élből a pozitív élbe vált), és megjegyzi ezt az értéket (pontot) digitális kijelzés számára. Az elv alkalmas a „dipérzékenység" jelentős növelésére, de azért az oszcillátor tervezési részletei, a rendszer felprogramozása, integrálása a frekvenciamérővel, stb. már széleskörű ismereteket kíván meg az amatőr tervezőtől, vagy inkább tervezőktől. A **9. ábrán** mutatunk egy idekapcsolható áramköri környezetet (*Urlich Fromm, DL2LTO* konstrukciója). Vessük össze az 1. ábrával!

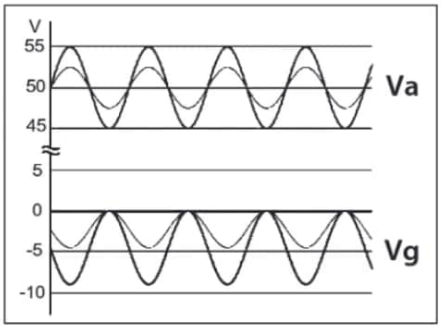


10. ábra

Ennek a uC-vezérelt GDO-nak egyik sajátossága, hogy a varikappal hangolt oszcillátoráramkörök és a demodulátorok (kétféle van, hasonló kapcsolástechnikával: az egyik KH-ra és RH-ra, a másik URH-ra) kívülről csatlakoztathatók a P1 aljzathoz, és a cseretekercsek ezeknek a külső oszcillátoroknak a kétpólusú aljzataiba dugaszolhatók (ezek az ábrán nem szerepelnek). Ez sem teljesen új! A [9]-ben bemutatott sajátos GDO is hasonló elven épül fel, csakhogy a cseretekercsekhez még tekintélyes méretű dobozok tartoznak, a dobozban gyakorlatilag a teljes, trióda-alapú (!) GDO-áramkör frekvenciaskálával ellátott forgókondenzátorral, katód-rács egyenirányítással. A központi egység – amihez az egyes GDO-k dugaszos kábelekkel csatlakozhatnak – a tápáramköröket, a varázsszemes indikátort és a tranzisztoros modulátort tartalmazza (*Hetényi László* konstrukciója; **10. ábra**).

2. Mire jó a GDO?

A GDO legjellemzőbb aktív üzemmódú alkalmazása a rezgőkörök rezonanciafrekvenciájának meghatározása. Ez a mérés azon a jelenségen alapul, hogy ha azonos frekvenciára hangolt rezgőköröket csatolásba hozunk, már kismértékű csatolás mellett is igen erős hatást gyakorolnak egymásra. Ez főleg a leszívás (elszívás) jelenségében mutatkozik meg, vagyis abban, hogy a rezgőkörök egymástól energiát vesznek át. Esetünkben ez azt jelenti, hogy ha egy rezgőkörrel csato-



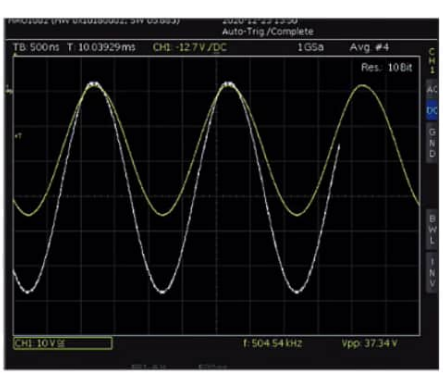
11. ábra

lásba hozott GDO frekvenciáját változtatjuk, akkor rezonancia esetén a mért rezgőkör az oszcillátorból egy meghatározott frekvencián energiát szív el, ami miatt az oszcillátor amplitúdója lecsökken. Ez a tulajdonképpeni dip-jelenség, amely hatás meglehetősen erős tud lenni, még kisebb tekercsnél is 5…6 cm-ről is érzékelhető. (Meg kell jegyezzük, hogy az előbbi működési magyarázat ugyan a szokásos és szemléletes, de elektrotechnikai értelemeben precízebb megfogalmazás is lehetséges, amikor is foglalkoznunk kellene az örvényáram jelenségével, a Lenz törvény érvényesülésével, stb.)

Az amplitúdó(változás) kijelzésére kezdetben varázsszemet, majd mutatós műszert használtak. Ez utóbbi főleg a tranzisztoros konstrukciókra volt (s tán még most is) a jellemző. Ugyanakkor már modernebb megoldásnak számítanak a LED-es, vagy éppen akusztikus kijelzési formák, illetőleg ezek kombinációi. Az említett mikrokontrolleres műszerekben gyakori az LCD-n megjelenített, változó hosszúságú kijelzősáv. Rezonanciánál mindig a kijelzés „változási meredekségét" kell figyelni , amely konstrukciótól függően lehet pozitív (maximum jel), vagy negatív (minimum jel) értelmezésű, s ahol ezt tapasztaljuk, kell a frekvenciaskáláról vagy a digitális kijelzőről a konkrét értéket leolvasni.

Természetesen nemcsak rezgőkör, hanem sokféle rezonáns elem, vagy áramköri részlet mérésére is alkalmazható ez az eljárás, a diszkrét elemektől kezdve egészen a tápvonalakig. Méréstechnikai fejezetünkben egy sokoldalú válogatást olvashatunk ezekről, itt csupán kedvcsinálónak említünk néhányat. A rutinos felhasználók a rezonancia „élességéből" rezgőköröknél a körjóságra is következtethetnek. A diszkrét elemek tekintetében például ismert értékű kondenzátor, vagy tekercs segítségével lehetséges kapacitás, vagy induktivitás mérése is. Rezgőkört alakítunk ki és a közismert Thomson-képlet segítségével a rezonanciafrekvencia és az ismert elem értékéből kiszámítható az ismeretlen elem értéke, ráadásul akár annak a frekvenciának a közelében, ahol azt használni szeretnénk.

A GDO-ból egy egyszerű vezetékhurok, vagy tekercs segítségével jelet is lehet kicsatolni. A kicsatolt jel amplitúdója a műszer közelítésének távolságával hasonlóan széles tartományban változtatható, mint egy ún. piszton-osztós szignálgenerátornál, az eleve beépített amplitúdó-szabályozóról nem is beszélve. Vevők mérésénél, behangolásánál adóként is használható a dipmérő, ha bekapcsolt állapotban letesszük egy bizonyos távolságra a készüléktől. Éppen ezen lehetőség miatt a GDO-ba gyakorta valamilyen HF oszcillátort, és modulálási lehetőséget is beleépítenek. Így többnyire ugyanazon funkciókra használható, mint egy *szignálgenerátor*, csak jóval kisebb pontossággal.



12.a ábra

A dipmérő ún. passzív üzemmódban is hasznos műszerünk lehet. Ilyenkor a saját oszcillációját leállítjuk (vagy az amplitúdóját jelentősen csökkentjük), és keressük azt a frekvenciát, ahol a GDO rezgőköre szív el energiát a mérendő áramkörből. Ezt az eljárást nevezzük *abszorpciós frekvenciamérésnek*. Ezzel a módszerrel jeleket kereshetünk: harmónikusok, vadrezgések mutathatók ki. Lehet üttetni is a mérendő jelet a saját rezgéssel, s ez a heterodin elv pontosabb frekvenciamérést tesz lehetővé. Látjuk tehát, hogy az egyszerű és olcsó GDO több, különféle műszer funkcióját képes egymaga ellátni, bár pontossága „némi" kívánnivalót hagy maga után. Ennek miértjét egy későbbi fejezetben részletesen elemezzük.

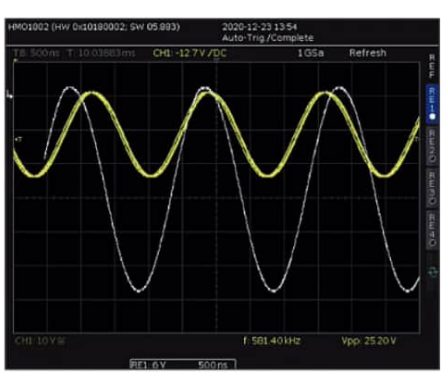
3. A Dip-Méter alapjai

3.1. Az alapmegoldás

Az 1. ábrán a GDO-k alapmegoldását mutattuk be, elvi rajz szinten. A tipikus Colpitts oszcillátor rezonáns köre egy tekercsből, s egy kétszektoros forgókondenzátorból tevődik össze. Az oszcillációs frekvenciát tehát a Thomson-képlet alapján határozhatjuk meg ($f = 1/[2\pi\sqrt{LC}]$.) Megjegyzendő, hogy az összefüggésben a C kapacitás a kettősforgó két szektorkapacitásának soros eredője.) A frekvenciaátfogási tartomány igen széles lehet, amit cserélhető tekercskészlettel lehet megvalósítani. Az oszcillációs szint szabályozására az anódfeszültség módosításával lehetséges az R1 munkaellenállás útján. Az ok pedig, hogy a GDO-kban kevésbé szeretjük a másik közismert oszcillátortípust a Hartley-t, az, hogy annak leágazásos tekercsre van szüksége. Igaz viszont, hogy a Colpitts-hoz meg egyforma kapacitású kétszektoros forgó szükséges. A két megoldás egyenrangú, csupán lehetőségünk, technológiánk függvénye, hogy melyiket is alkalmazzuk.

3.2. Az oszcillációs szint detektálása

A **11. ábránk** az 1.a ábra áramkörének anód- és rácsfeszültségét mutatja oszcillációs állapotban. A fekete vonal a nagyszintű, a szürke vonal a kisszintű oszcilláció. A rács meghajtása a C4 visszacsatoló kondenzátoron keresztül történik. A jel pozitív csúcsa a rács-katód egyenirányítás következtében a testponthoz van rögzítve, és a negatív „rész" képezi a rácsfeszültséget. A rács földelve van az R2, valamint a G galvanométer (vagyis inkább mikroampermérő) útján. Ennélfogva a föld felől a rács irányába egy DC áram áll elő. Az előbbi alkatrészelemeken folyó áram tehát arányos az oszcilláció szintjével, s közvetlenül így a műszer kitérésével is. A **12.a ábrán** pedig az igazat mutatjuk, nem csak a valódit, ahol egy megépült



12.b ábra

csöves kapcsolás az előbbi szituáció szerinti felvételeit láttatjuk. A **12.b ábrán** azt is megfigyelhetjük, hogyan jön létre a túl szoros csatolás esetén a frekvenciaelhúzás jelensége.

3.3. Kölcsönös „együttműködés" a mért rezonáns körrel

Utaltunk már arra, hogy a GDO-knak lehet egy egymondatos működési magyarázata, de „mélyebbre is áshatunk". A következő sorok egy picit ezen felszín alá engednek betekintést. Amennyiben olyan rezonáns kört mérünk, melynek rezonanciafrekvenciája nem ismert, akkor Dip készülékünk dugaszolt tekercsét közel helyezzük a mérendő körhöz, s ekkor egy induktív csatolást hozunk létre a **13. ábra** szerint. A két tekercs a transzformátorokhoz hasonlóan mágneses csatolásban kerül egymással, s a **14. ábra** szerinti helyettesítő képet rajzolhatjuk meg. Az Rs ellenállás az Lx tekercs ohmos összetevőjét modellezi. Az „M" pedig a kölcsönös induktivitási tényező, ami itt relatíve igen alacsony, mivel törekszünk a minél lazább csatolásra. Ez utóbbival azt akarjuk elérni, hogy a körök kölcsönös egymásrahatása – ami frekvenciaelhúzást von maga után – minél kisebb mértékben jelentkezzen. Amikor a vizsgáló és a vizsgálandó két kör nincs rezonanciában egymással, akkor az utóbbi nagy induktív (vagy kapacitív) impedanciát mutat, s az előbbire (= az oszcillációs szintre) nem gyakorol lényeges hatást. Amikor azonban $f_0 = f_x$, akkor a mérendő kör alacsony impedanciájúvá válik, energiát von el a „meghajtó" rezgőkörtől, mintha annak Q-ja jelentősen csökkenne (megnövekszik az oszcillációs hurokban a teljesítményveszteség). Az eredmény pedig: az oszcillációs szint csökkenése. Ezt a szintcsökkenést detektáljuk dip-ként a műszer segítségével, s az előzőek értelmében az ismeretlen f_x is meghatározható.

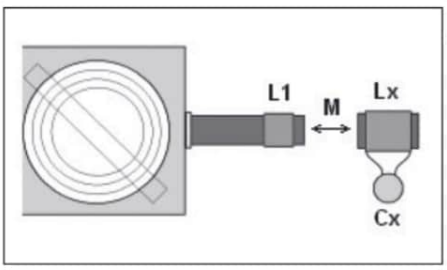
3.4. Az LC-kör vizsgálata.

Egy pl. 0,5...300 MHz-ig hangolható oszcillátor tervezése meglehetősen bonyolult feladat. Különösen akkor, ha járulékos követelményként közel állandó amplitúdót fogalmazunk meg. Ugyanakkor a kimeneti amplitúdó a dip-jelenségnél határozottan csökkenjen, és ez a csökkenés a kijelzőn gyorsan nyomon követhető legyen. Az első probléma a jó induktivitás-kapacitás kombináció kiválasztása, amely a kívánt frekvenciatartományra kielégítő hangolási átfogást ad. Ezzel kapcsolatosan mindjárt két technológiai probléma is adódik. Egyrészt az amatőr nem szeret tekercset készíteni (megjegyezzük: szinte senki sem szeret ezzel foglalkozni), a másik pedig, hogy a jó minőségű hangolókondenzátor mára már nem kereskedelmi termék, Igy, az egyes rádiókból kiszerelt választékkal kell beérni. Gyakorlati tapasztalatból elmondhatjuk, hogy ez a hangoló alkatrész a konstrukciók egyik legkritikusabb eleme.

Az e tárgykörben a [11]-ben elmondottakat most a következőkkel egészítjük ki. Szélessávú rendszereknél – mint amilyet mi is szeretnénk – különösen 100 MHz felett jelentkezik a hangoló kondenzátor parazita induktivitása is. Így ebben a frekvenciatartományban a forgókondenzátorok gyakorta elveszítik hatékonyságukat. Alacsonyabb frekvenciakörzetekben a hangoló-kapacitás minimális értéke hozzáadódik a tekercs szórt kapacitásához, és a parazita induktivitással együtt meghatározzák valamennyi sáv felső határfrekvenciáját. A tekercs viszonylag kis szórt kapacitással rendelkezik (alkalmas kivitelezés esetén), de a többi felhasznált alkatelem mint pl. tranzisztor, az ellenállás, de még a tekercs foglalata maga is elronthatja a forgókondenzátor minimális kapacitásértékénél számított hangoló hatását. Erre a problémára alkalmaztuk az [11] szerinti szerelési megoldást. Mi választásunk marad tehát? Sajnos keresnünk kell a sok silány gyártású, kommersz forgókondenzátor közül egy céljainkra mégiscsak alkalmasat. Ne feledjük a szabályt: a frekvenciafogás a kapacitásátfogás négyzetgyökével egyenlő:

$$f_{max}/f_{min} = \sqrt{(C_{max}/C_{min})}$$

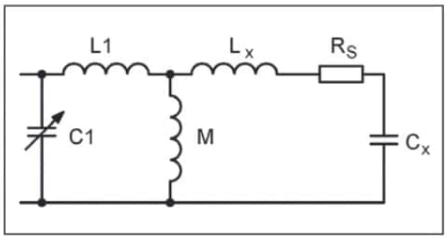
Ezt tekintetbe véve egy 75 pF végkapacitású forgóval csak kb. 2:1 frekvenciaátfogás valósítható meg, aminek megvan az az előnye, hogy a hangolás a dipre nézve nem olyan kritikus. Hátránya viszont, hogy még több tekerccsel kell „lefedni" a kívánt frekvenciatartományt. Annak meg határt szab a megrajzolható skálaívek száma (lásd később). Ugyanakkor egy AM-sávú műsorvevő kb. 360 pF-os (régebben 500 pF-os) forgójával jobb, mint 3:1 frekvenciaátfogás érhető el, ám az előző előnyök és hátrányok felcserélődnek. Rezonáns mérések esetében a forgókondenzátor eredő végkapacitása Collpits oszcillátoroknál a Ca és a Cb (a két szektor kapacitása) soros eredője; ezen kapacitáshoz kell a dugaszolható tekercsek induktivitását méretezni. A helyzetet még az is bonyolítja, hogy nem minden kettős forgó szimmetrikus, azaz a két szektorának végkapacitása a szupervevők modulátor- és oszcillátorkörének együttfutását padding-kondenzátor nélkül jobban biztosítandó, különböző végkapacitású. Végül is a viszonylag hozzáférhető kettős forgókondenzátor és a „nem szeretem" tekercskészítés, amely tekercs azért nélkülözi a leágazást, első közelítésben szükségszerűvé teszi a Colpitts típusú oszcillátor alkalmazását. Ilyen oszcillátor természetesen készíthető varikap-hangolással is, amelyre pl. a [12] és a [13] mutat egy-egy példát. Általában jellemző az ilyen hangolású műszerekre, hogy keskenyebb a sávátfogásuk, és a rezgőkör Q-ja is rosszabb a varikapnak a forgókondenzátoréénál jóval nagyobb veszteségei és egyéb jellemzői miatt. Már itt megjegyezzük, hogy ha mégis „szeretnénk" leágazásos tekercset készíteni, sok problémától mentesülhetünk.



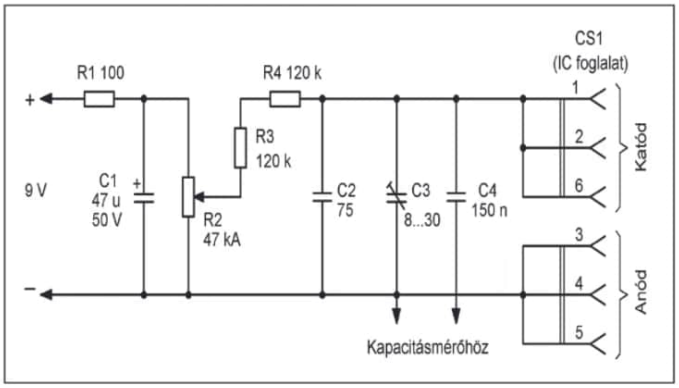
13. ábra

3.5. Forgókondenzátor kontra varikap

Az előző szakaszban érintettük ezt a kérdéskört, itt részleteiben meg is vizsgáljuk. Az tudott dolog, hogy a rezgőkörök hangolásához a klasszikus forgókondenzátort ismerik a legtöbben. Az is tény, hogy az olcsó rádióvevők, vagy éppen a nagyteljesítményű RF adófokozatok ezt az alkatelemet használják hangolási célra. Paradox módon viszont



14. ábra



15. ábra

éppen ezek nem kaphatók ma már a szakkereskedésekben. Az elektronika persze mindenre ad megoldást, ha nem is lehet minden alkalmazásnál megkerülni az eredeti felállást. A varászvessző tehát a feszültséggel hangolható kapacitásdióda. Hangolóelemként történő felhasználása időről-időre kérdéseket vet föl, számba véve annak előnyös, illetve hátrányos tulajdonságait. Az alábbiakban ezeket foglaljuk össze, fókuszálva a GDO-ban történő alkalmazására. Az olvasó pedig eldöntheti, hogy az adott konstrukció megvalósításához mennyire „illik" ez, vagy az a választás.

A varikapos hangolás előnyei:

– *Elektronikusan szabályozható hangolási tartomány*. A varikap kapacitása a ráadott záróirányú feszültség (hiszen dióda) hatására változik, az eszközre definiált feszültségtartomány/kapacitás jelleggörbe szerint.

– *Kis alakténvező, nagy mechanikailag stabilitás*. Az első nem szorul magyarázatra különösen akkor, ha a méretek jelentős csökkentése a kitűzött cél. A második pedig – ha az egész hangolási eljárást együtt vizsgáljuk – akkor igaz, ha a hangoló potenciométer is mechanikailag stabil. Az tény, hogy magánál a félvezető eszköznél kitűnő a mechanikai stabilitás, ütésre, rázkódásra érzéketlen. Nem jelentkezik a forgókondenzátoros hangolások rémálma, a mikrofónia jelensége.

– *Könnyen beszerezhető*. Jó mechanikai konstrukciójú forgókondenzátort ma már igen nehézkes beszerezni, ellentétben az elektronikai szakkereskedések széles varikap-választékával.

A varikapos hangolás hátrányai:

– A kapacitásátfogása – egyes típusoktól eltekintve – sokkal szerényebb a forgókondenzátorokénál.

– A jósági tényezője (Q) sokkal rosszabb a forgóhoz viszonyítva, 1 MHz alatti frekvenciákon nagy ESR értéket mutathat. Egy GDO-nál (de sok más alkalmazásban is) a minél nagyobb körjóság a kívánatos (élesebb dip).

– Kondenzátorként erősen nemlineáris elem (lásd az egyes típusok karakterisztikáit). Ez ellen persze lehet elektronikai eljárásokkal tenni, de azok többletalkatrész-ráfordítást igényelnek. Gyakran alkalmazott módszer a két párba válogatott, egymással szembekapcsolt varikap alkalmazása, de akkor meg a hangolási tartomány csökken.

A fenti pro-és kontra érveket vegyük figyelembe ha GDO-t készítünk, mert ami még simán elmegy pl. egy VCO alkalmazásnál (a körjóság ott nem elsődleges szempont), az a dip szempontjából korántsem mindegy! Ugyanúgy fontos a kimeneti jel „tisztasága" is, s varikapos hangolásnál, nem túl szerencsés kapcsolástechnikával a kimenet harmonikusokban „gazdag" lesz.

Az előbb szót ejtettünk a kapacitásdiódák párbaválogatási „kényszeréről". Amennyiben van kapacitásmérőnk, úgy a **15. ábra** ehhez ad segítséget. A mérőeszközre stabil 9 V-ot kapcsolva, a feszültség-kapacitás karakterisztika felvételéhez érdemes lehet a potmétert skálával ellátni, a csúszkán mért feszültség alapján, egy műszert és sok mérést takarítunk meg vele.

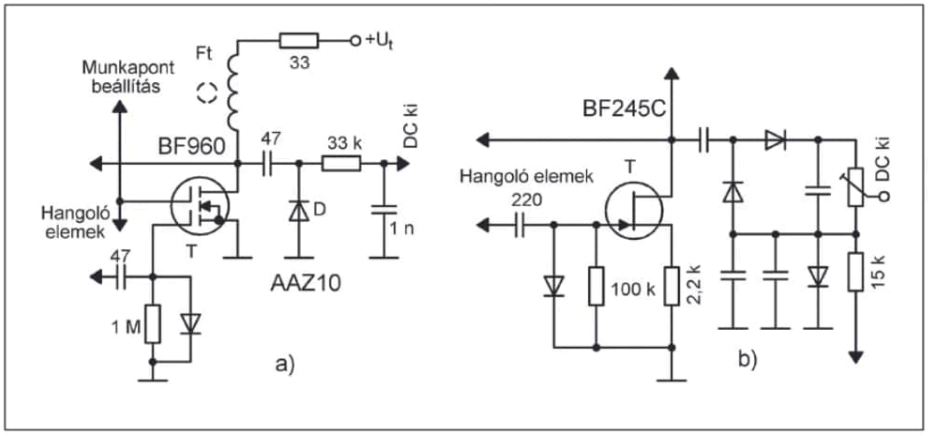
A készüléket kapacitásmérőre kapcsolva a C3 trimmerkondenzátorral állítsunk be 100 pF-ot, majd rákapcsolva a mérendő varikapot, a leolvasott értékből le kell vonni a 100 pF-ot. A teszter működése ismert értékű kondenzátorral ellenőrizhető. Amennyiben nagyobb hangolófeszültségű varikap diódát szeretnénk mérni, érdemes lehet 30…40 V-os labortápot alkalmazni 9 V-os helyett, így finoman állítható a hangolófeszültség, és a labortáp kijelzőjén látható az adott feszültség. Ekkor a potenciométer és az előtte szereplő szűrőtagok elhagyhatók. Az **1. táblázat** pedig néhány gyakoribb varikap-típus adatait foglalja össze.

3.6. Félvezetős konstrukciók

Mivel az ősi dip-méter egy régi, idejétmúlt technológia, és a főbb alkatelemeit nehézkes beszerezni, ezért eredeti dipmétert építeni problémás lehet. Különösen most, mikor az elektroncsövek, a kétszektoros légforgók boltokban régóta nem kaphatók, GDO-t hagyományos módon csak azok készíthetnének, akiknek van korábbról felhalmozott készletük ezekből az alkatrészekből. Viszont az előbbi fő alkatelemek helyettesíthetők tranzisztorokkal, illetve varikap diódával, mely utóbbi felhasználási megfontolásait ez előző fejezetünk

Típus	Min. C pF	Max. C pF	U_H max. V	I_{max} mA	Alkalmazás
MV104	2	42	32	0,2	FM
KV1310			30		
MV2105		16			FM/TV
MV2109		36			
MV209	5	32			VHF
MMVL2101	2,5	6,8			FM/TV
MMVL3102	4,5	25			VHF
MMBV609	1,8	32	20		FM
BB103	11,3	30	30		VHF
BB104	2	42	30		FM
BB105B		18	35		UHF
BB105G	1,8		30		
BB106	4	20			VHF
BB109G	4,3	32			
BB112	17	560	12	0,05	AM
BB204	2	42	30	0,2	FM
BB205		16			FM/TV
BB209		36			
BB304		42			FM
BB405B	1,8	18			UHF
BB409	5	32	28		VHF
BBY40	6	30	30	0,02	

1. táblázat

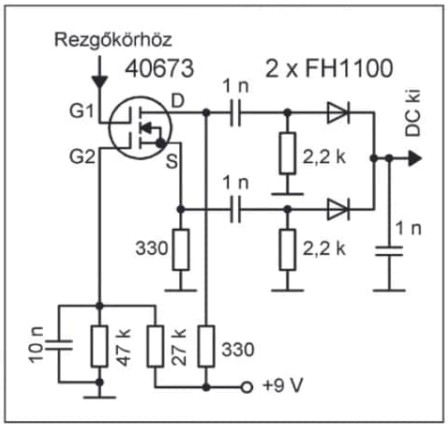


16. ábra

taglalta. Tehát nincs veszve semmi, készítsünk modernkori dip-métert! Rendben is lenne, hiszen rengeteg jegyzet, kiadvány foglalkozik RF oszcillátorok tranzisztorokkal történő megvalósításával, így könnyű lehet diposzcillátort építeni. De ez nem teljesen igaz!

Összegzésként elmondható, hogy az általános RF oszcillátorok karakterisztikája nem optimális diposzcillátornak [10]. A legtöbb tranzisztoros oszcillátor ugyanis a telítésének határán dolgozik, mert a tranzisztor erősítése a biztos (s folyamatos) oszcilláció érdekében elegendően nagy szintre van állítva, de az túl nagy ehhez az alkalmazáshoz. Az oszcillációs szint szabályozása a szaturációs szinthez kötött, így a rezonancia esetén tapasztalható teljesítményveszteség csekély hatással van rá. Ennélfogva egy általános RF oszcillátor GDO-nak kevésbé használható az alacsony érzékenysége okán. Megjegyezzük hogy ez a megállapítás nem általános érvényű, mert pl. a 8. ábra kapcsolásában szereplő emittercsatolt oszcilátorra a fentiek nem érvényesek.

Ahhoz, hogy az oszcillátor a lineáris tartományban dolgozzon, egy „AGC jellemző” beiktatása szükséges, szabályozandó az oszcillációs szintet. Valójában az 1.a ábrán bemutatott csöves diposzcilátor egyben AGC erősítőként is működik. A rácsán jelenlévő DC feszültség – ami arányos a mindenkori oszcillációs szinttel – a rács előfeszültsége is. És ez a diposzcillátor kulcsjellemzője! A szabályozó hurok amolyan inverz AGC-ként működik. Amikor az oszcillációs szint növekszik, a rácselőfeszítés is nagyobb lesz, az elektroncső erősítése csökken, miáltal az oszcillációs szint is. Ez azt eredményezi, hogy az oszcillációs szint a tápfeszültséghez képest egy alacsony értékre limitálódik. Az egész „történetet” más szavakkal kifejezve: a mérőműszer mutatójának kitérése az AGC-szintet mutatja. A cső erősítése még megfeleltethető annak anódfeszültségével is, így a műszerünk érzékenysége azzal manuálisan is szabályozható.



17. ábra

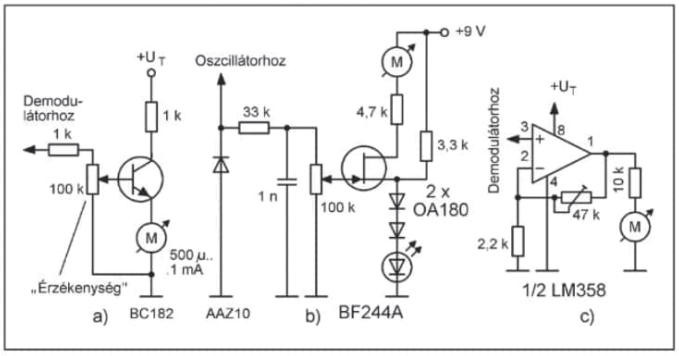
Láttuk, hogy pl. a 4.a ábra elvi rajza az elektroncsövet váltotta ki jFET-tel. Ez egy, a GDO-kban alkalmazott, tipikusnak mondható kapcsolási elrendezés. Két lényeges különbség van azonban az 1.a és a 4.a ábra között. Az egyik, hogy az eszköz erősítése nem függ a tápfeszültségtől, ezért a kézi erősítésszabályozást nem annak változtatásával kell megoldani! Erre a jFET munkaponti „beavatkozása” ad lehetőséget. A másik az alacsony tápfeszültséghez köthető. Ekkor a félvezető munkaellenállását ajánlott ellenállás helyett fojtótekercsre cserélni. Ezzel a fogással a kivezérelhetőségének dinamikatartománya a kétszeresére növelhető az „ohmos” munkaellenálláshoz képest. Ugyanakkor a fojtó alkalmazása nagy oszcillációs szintingadozást is hozhat a nagy dinamika miatt, vagy esetleg a hangolás során a „saját-dip” jelensége is előállhat, ami nem jelentkezik a sima „ohmos” munkaellenállásnál. Így a regisztrálás szempontjából talán szerencsésebb a fojtó használatát nem „erőltetni”.

Megjegyezzük, hogy az említett fojtó „viszontagságairól” [14] ben részletesen olvashatunk. A rajzon szereplő D1 egy RF Shottky dióda, amely egyenirányítja a visszacsatoló jelet, miként az elektroncsőnél a rács-katód dióda.

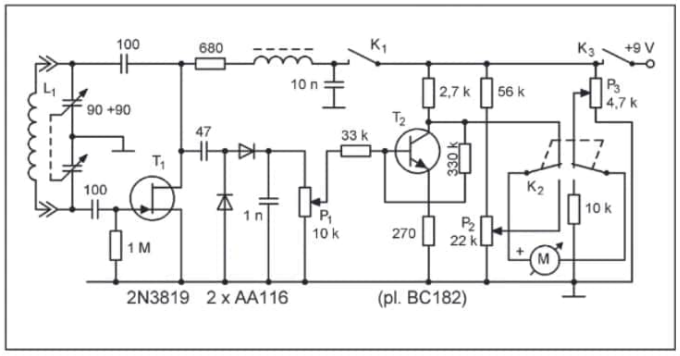
3.7. A voltmérő-probléma, avagy hol is van a dip?

Az eddigi ismereteink alapján tehát a feladat az LC-kör amplitúdóesésének minél érzékenyebb detektálása, amely kissé hasonlatos pl. a fémkeresők egyes típusainak problémájához. A gond alapvetően a GDO passzív üzemmódjában lép fel, mivel aktív módban többnyire nagy az oszcillációs amplitúdó, amit könnyű egyenirányítani és a dip is jól indikálható A közvetlen bázisáram (ill. kapuáram) mérése nem hozott kielégítő érzékenységi eredményt, így pl. a 4.a ábra elvi rajza ténylegesen is csak elvi megoldás. A leggyakoribb az aktív elem másik elektródáiról történő jelkicsatolás és egyenirányítás. Ez utóbbi egyutas (pl. **16.a ábra**), ill. teljeshullámú, vagy éppen feszültségkétszerező (**16.b ábra**) változatban is használatos. Mérésekkel igazolható, hogy a teljeshullámú megoldás a hatékonyabb. Ezen kapcsolási részlet tekintetében különlegesnek számító profi megoldást mutat a Heathkit HD-1250 modellje (**17. ábra**), aminek működési részleteit [15]-ben olvashatjuk.

Az egyenirányítással az a fő probléma, hogy legtöbbször diódát használunk, aminek adott, néhányszor 100 mV-os nyitófeszültsége van, és ráadásul amplitúdófüggő rétegkapacitással is rendelkezik, így ha azt „rossz helyen” alkalmazzuk, akkor a frekvenciahatárokat is befolyásolhatja. A „bajt” ügyesen kerültük el [11]-ben és az ottani megoldást máshol is fel lehet használni. Ha mégis diódás megoldások mellett döntünk, akkor germánium tűs diódák, vagy szilícium Schottky típusok jöhetnek szóba. A diódák ritkán hajtanak meg közvetlenül Deprez műszert, legtöbbször erősítő közbeiktatása szükséges. Egy érzékenyebb alapműszer alkalmazása nem hoz javulást, több okból sem. A diódák nyitófeszültség alatt nem vezetnek, ennél fogva az érzékenyebb műszer sem mutat többet. (Kipróbáltunk 50, ill. 100 ,µA-es műszereket is). Ráadással tekintettel kell lennünk a bevezetőben említett olcsóságra való törekvésre, és bizony igen nagy az árkülönbség egy minden amatőrfiókban fel-



18. ábra



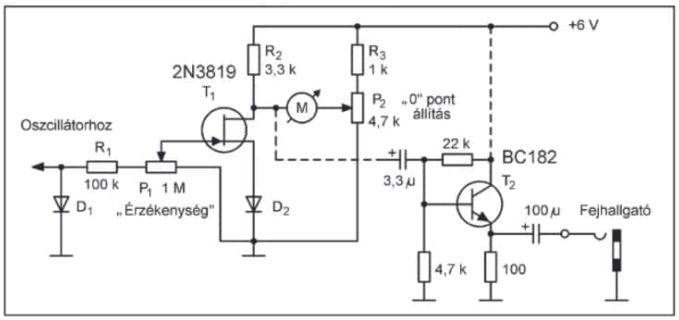
20. ábra

lelhető kivezérlésjelző műszer és egy precíziós 50 µA-es, feszítettszálas deprez között! Folytak kísérletek érzékeny DC-erősítővel is. Azonban, hacsak nem FET bemenetű volt az erősítő, akkor a kívánatos bemeneti áramcsökkenés nem következett be, még ha Darlingtonpárral kísérleteztünk is. Mivel a diódás áramkör egy ponton túl már nem terhelhető, megállapíthatjuk, hogy egy egyfokozatú jFET-es erősítő tökéletesen alkalmas a feladatra. Ebben a fokozatban is kipróbáltunk tranzisztoros és műveleti erősítős megoldást is; ezekre az **18. ábra** mutat példát.

Amennyiben sikerül sávon belül viszonylag egyenletes amplitúdómenetet tartani, a dipre való érzékenység fokozható hídáramkörös műszerkijelzéssel (**19. ábra**). A híd egyik ágát az R2, T1, D2, míg a másikat R3, P2 alkotja. Működéséről úgy gondoljuk, itt már nem kell szót ejtenünk. A 19. ábrán szaggatott vonallal rajzolt áramköri részlet szerepét később értelmezzük, Fejezetünk végén abban bízunk, hogy a **20. ábrán** látható dip-mérő megoldásról – amely az előző pontok sokféle szempontját reprezentálja – minden olvasó el tudja dönteni a kapcsolás előnyeit, hátrányait és fel tudja mérni, hogy ez a műszer körülbelül mire képes. További kijelzési módozatokat még azért becsempészünk a konstrukciós fejezetünkbe is.

4. GDO és a digitális világ

A mai modern GDO-ban az elektroncső helyett tranzisztor adja az aktív elemet, és a mérőmű tipikusan annak Gate körében (amikor a tranzisztor térvezérlésű), illetve bázis-vagy kollektorkörében (ha a tranzisztor bipoláris típus) helyezkedik el. Az előző fejezetekben részmegoldások szintjéig vizsgáltuk technikai megvalósíthatóságuknak minden aspektusát. A továbbiakban azt tekintjük át, hogy mit is lehet az analógon javítani, és milyen jellemzői digitalizálhatók annak előnyeivel hátrányaival együtt, miközben annak eredeti funkciója, használati jellemzője megmarad.



19. ábra

4.1. A dolgok régi rendje

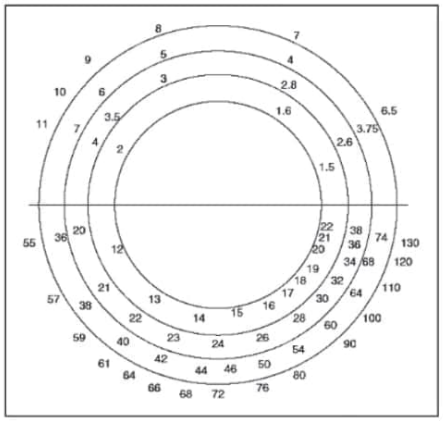
Dacára annak, vagy éppen azért, hogy a dipmérő egy egyszerű áramkör, egyszerű koncepcióval, van jónéhány hátránya, hátulütője. Ezek közül egyeseket itt részletesen megvizsgálunk, azonban az elmondottak nem vonatkoznak a különböző színvonalon történő technikai megvalósításból adódó működési anomáliákra. Ez utóbbiakkal egy másik fejezetben foglalkozunk. Az itt elemzett hátrányok – amennyiben azokat a felhasználó tényleg hátrányként éli meg – a GDO elvi működéséből fakadnak, együtt kell élni vele. De nézzük is meg a lényegesebbeket!

4.1.a. A frekvenciaelhúzás

Ez a legproblematikusabb jelenség a GDO használata során. A frekvenciaelhúzás egy oszcillátor hajlama arra, hogy megpróbálja követni a közelében levő csatolt rezonáns kör (vagy külső jel) frekvenciáját. Ez az ún. frekvenciazáródási tulajdonság elektronikai értelemben lehet hasznos is, de többnyire „szenvedünk tőle" (pl. a fémkeresők BFO, és PLL típusai kapcsán). Említettük már, hogy amikor a dipmérőt közelségbe hozzuk a mérendő rezonáns körrel, az energiát von el a műszerünk oszcillátorától. Ezzel egyidejűleg elhúzza annak oszcillátorfrekvenciáját is. Az elhúzás mértéke sok esetben meghaladhatja a megahertzes mértéket! Ezt elkerülendő a két „szereplő" közötti csatolást a lehető leglazábbra kell választani, a távolság növelésével. A laza csatolás ugyan csökkenti ezt a jelenséget, de a problémát nem szünteti meg, ráadásul így a műszerünk érzékenysége is csökken. Csökkent érzékenység mellett a dip észlelése kevésbé lesz határozott, nehézkes észrevenni. Mivel pedig a frekvenciajelölés a dipmérő hagyományos skáláján rögzített, nem tudhatjuk, hogy a frekvenciaeltolódás végül is milyen mértékű.

4.1.b. Skálakihagyás

A GDO frekvenciaskálája szokásosan teljes, vagy félkör megjelenítésű. A **21. ábra** egy házilagosan is kivitelezhető skálarajzot mutat. Egy adott területen -jól kiértékelhető módon-



21. ábra

csak adott számú skálakör rajzolható meg. Így pl. ha nyolc kört tudunk megfelelő számjegyekkel felrajzolni, akkor a készülékünkhöz csak nyolc tekercset használhatunk a teljes sávátfogás eléréséhez. Egy kommersz forgókondenzátor tipikus frekvenciaátfogása 2:1, így az a GDO amely mondjuk 1 és 100 MHz között működik, hét sávot kell használjon pl. a következő bontásban: 1…2 MHz, 2…4 MHz, 4…8 MHz, 8…16 MHz, 16…32 MHz, 32…64 MHz, 64…128 MHz. A gyakorlatban pedig szükséges az egyes sávok közötti némi átfedést biztosítani. Példánknál maradva a második sáv legyen 1,9…3,8 MHz, így kissé átlapolva az első sávot. A harmadik sáv lehetne 3,6…7,2 MHz és így tovább. Ugyanakkor a sávnyújtás (kiterjesztés) is igényünk lehet mondjuk a 3,5…4,0 MHz-es tartományra (80 m-es amatőrsáv), amihez akkor meg egy újabb skálakörre lenne szükségünk. Könnyen belátható, hogy ha ez a nyújtottsáv-igény többször is felvetődik, akkor hamar elfogy a rendelkezésre álló hely.

4.1.c. Skálakompresszió

Mivel hagyományosan forgókondenzátort használunk, a felvitt frekvenciaértékek (jelölések) a skála utolsó szakaszánál „torlódnak". Itt azért „álljunk meg egy szóra" mondotta volt egykori neves nyelvművelőnk. A forgó elfordulás/kapacitás változása technológiai kialakításának tekintetében találkozhatunk ún. kapacitáslineáris, és hullámhossz-lineáris karakterisztikájú kivitellel. Az meg sajnálatos tény, hogy a ma leginkább fellelhető típusok kapacitáslineáris kivitelűek, azaz az elforduló fegyverzetük lemezei félkör alakúak, s éppen ezek használatára jellemző az említett értéktorlódás. (Megjegyezzük, hogy a légforgók esetében a kapacitáslineáris jellemző házilagosan módosítható hullámhossz-lineárisra, de ezzel most nem foglalkoznánk.) Az előző ábra tehát mutatja, hogy a frekvenciatartomány első harmada a skálaív felénél „foglal helyet", és a maradék kétharmad sűrűsödik össze a skálaív másik felében. Ez a tény a magasabb frekvenciatartományoknál leolvasási nehézséget okozhat. Az eddig elmondottakat szépen szemlélteti a LEADER LDM815-ös konstrukciójának skálamegoldása, bizonyítandó, hogy a gyári megoldásoknál sincsen ez másképpen **(22. ábra)**.

4.1.d. Skálafelbontás

Az előző ábránk is mutatja, hogy nehézkes lehet a frekvenciát, vagy még inkább a frekvenciakülönbséget leovasni a skálaosztások számának elégtelen volta okán, amit nevezhetünk felbontási finomságnak is. Ehhez még hozzájárulhat a kiolvasás parallaxishibája is (a leolvasó indexnek a skálától való távolságától, ill. a rátekintés irányától függ).

4.1.e. Kalibráció

Ez nem lehet probléma egy vásárolt gyári készüléknél, de ha magunk készítünk ilyen berendezést (pl. kapcsolási rajz alapján), szükséges a számtárcsát kalibrálni. Ez azt is jelenti, hogy ehhez a művelethez szükségünk lesz viszonylag pontos vevőre, oszcilloszkópra, vagy éppen frekvenciamérőre, hogy minden frekvenciasávot „kalibrálhassunk". Az előre megrajzolt skálalapok szinte minden esetben korrigálásra szorulnak.

4.2. Az új megoldások

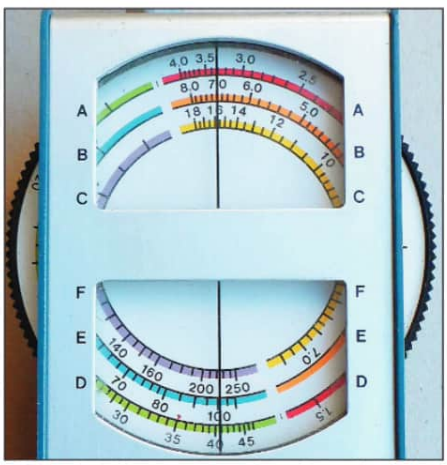
Láttuk, hogy a GDO-skála elkészítésekor egyrészt szükségünk van ellenőrző műszerre (frekvenciamérőre, mérővevőre, spektrumanalizátorra), másrészt a leolvasási nehézségek elkerülésére annak mérete sem lehet tetszőlegesen kicsi. Akinek még nincsen meg a kellő műszerezettsége a kalibráláshoz és a körskála osztásainál pontosabban szeretne dip-et meghatározni, azokban biztosan önkéntelenül is felvetődik az igény egy, a készülékbe épített digitális frekvenciamérőre. Már ez önmagában megoldana a fenti problámák közül többet is, de lehetséges még tovább lépni.

A rezonáns kör persze továbbra is elhúzza a frekvenciát, de ekkor a digitális frekvenciamérő közvetlenül az aktuális frekvenciát olvassa ki, így pontosan tudhatjuk, hogy menynyi az elhúzás mértéke. Mivel most számtárcsánk sincsen, nincsen korlátozva az alkalmazható tekercsek száma sem. Az ily módon „digitalizált" GDO ugyancsak mentesül a kompressziós és felbontási anomáliáktól, s a kalibráció is szükségtelen. Az igazság persze az, hogy a kompressziós hatás (forgókondenzátort használunk) ettől még van, de az értékek sűrűsödése megfelelő felbontású digitális kijelzéssel nem jelenthet problémát. Sokkal inkább a „hangolási kézügyesség" szükségessége, főleg bizonytalan tengelyfutású (holtjátékos) forgóknál. Ez utóbbi megjegyzésünk pedig már átvezet minket a megfontolt mechanikai kivitelezés nem kevésbé fontos témaköréhez.

Meg kell említenünk a digitális skálának egy hátrányos tulajdonságát. A bemenetét igen gondosan kell kialakítani, mert nagymérvű dip esetén a jelszint a bemeneti fokozat érzékelési határa alá eshet, így pont akkor nem tudjuk leolvasni a frekvenciát, amikor az a legfontosabb lenne!

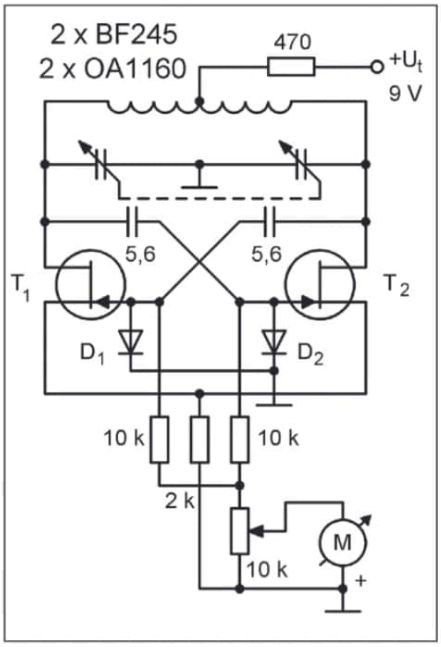
A fent vázolt digitális feljavítás természetesen költségvonzatokkal is jár, s további „előnytelen" momentumokkal is szembesülnünk kell. Ez utóbbi tekintetében növekszik például az áramkör komplexitása. Ebben az esetben már régen túl vagyunk az egytranzisztoros megoldáson, számolnunk kell több tranzisztorral, stabilizáló egységgel, kvarccal, mikrovezérlővel és az azzal járó szoftverfejlesztéssel stb. Egy hagyományos konstrukció (az a bizonyos 1-2 tranzisztoros) átgondolt kivitelezés esetén akár az UHF tartományig is működőképes. Ezt a jellemzőt egyedül a tranzisztorparaméterek, a választott kapcsolástechnika, és a kivitelezés (nyákterv, szereléstechnológia) határozzák meg. Komplexebb áramkör estén a konstrukció összetettsége okán már több tényező befolyásolja az elérhető felső frekvenciahatárt. Csupán felsorolásszerűen: az oszcillátor tranzisztor, a mikrovezérlő osztója, a buffererősítő átvitele stb.

Gondolatban itt tehát megoldottuk a sok probléma forrását adó frekvenciaskála átterelését a digitális szférába. Utaltunk rá, hogy lehetséges ennél tovább is lépni.



22. ábra

A GDO építésének másik neuralgikus pontja a dip kijelzésmód megválasztása. Mivel ez nem elvi működési probléma, azért e kérdéskörrel korábbi fejezeteinkben foglalkoztunk. De ha

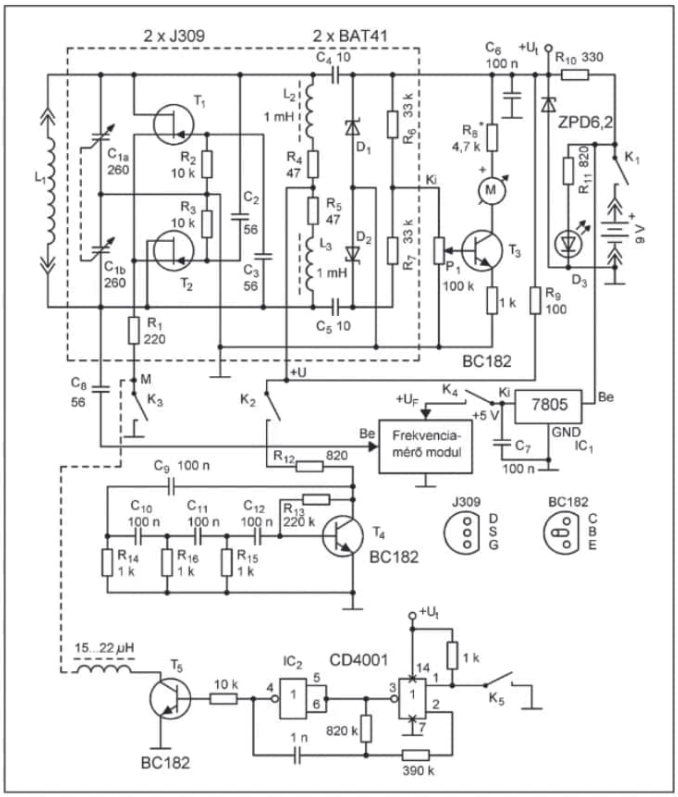


23. ábra

már az áramkörünk komplexitásáról itt van szó, itt engedtessék meg az a megállapítás, hogy lehetséges ezt a vonalat is digitalizálni. Léteznek olyan mikrovezérlők (pl. az Atmel ATmega 8535 típusa), melyek külső számlálóbemenetükkel feldolgoznak bejövő frekvenciaértékeket, ugyanakkor az AD átalakítója révén voltmérő funkciót is megvalósíthatnak. A kijelzése pedig „analóg bar graph" jellegű, mint korábban utaltunk ilyenre. Hangsúlyozzuk, hogy ez csupán egy technikai lehetőség, s nem egy bevett gyakorlat. Egy éles dip minimumra – ritkán maximumra – hangolása, illetve annak láttatása tipikus analóg módú (műszeres, hang, LED-es) kijelzési protokoll, az emberi szem ehhez szokott hozzá. A fejlődés ettől még persze nem áll meg…

5. Konstrukciók

Mint azt az előzőekben láttuk, az amatőr „kedvére való"



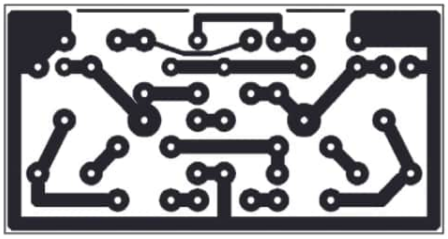
24. ábra

GDO konstrukciót a könnyen kivitelezhető tekercskészlet, és az egyszerű, de jól használható skálamegoldás jellemzi, lévén egyik készítése sem kedves elfoglaltsága készítőjének. Ezt szem előtt tartva, ha csak lehet, ragaszkodunk a leágazás(ok) nélküli tekercshez. Ami a skálát illeti, azt pedig teljesen elektronikai, digitális megoldással váltjuk fel: frekvenciamérőt alkalmazunk. Alapul a [14]-ben tárgyalt digitális frekvenciamérőt vesszük, de ugyanolyan eredménnyel használható a [12]-ben szintén részletesen bemutatott frekvenciamérős megoldás is. Amennyiben a fenti elveinktől eltérő megoldással találkozik itt az olvasó, annak oka van. Eddig is igyekeztünk az elméleti fontolgatásainkat gyakorlatban is használható rajzi részletekkel alátámasztani, így az egyes „morzsák" összerakásából már ki-ki összeállíthat komplett dipmérőt magának, azaz idáig is konstrukció-centrikusan szemléltettünk. Az alábbi kivitelezési ötleteknél sem lesz ez másképpen. Egy-egy vezérelv mentén bemutatott példányoknál egyes (újnak ható) részeket kellő részletességgel, míg más áramköri/technológiai részeket csak utalás szintjén említünk, így is szinte kimeríthetetlen a választék érintőleges ismertetése.

Az elsőként ismertetésre kerülő két GDO készüléket a 2007. évi BURABU konstruktőri kiállításán, a műszerek kategóriában kiérdemelte a 2. helyezést.

Az előző szakaszokból látjuk, hogy az ideális dipper megkövetelt tulajdonságai: széles frekvenciatartomány, állandó kapu- (v. rács-) áram indikálás valamennyi sávban, hamis dip jelenségének elkerülése, könnyen leolvasható kijelzés jó frekvenciastabilitás és elegendően nagyszintű kimenőjel egyéb áramkörök meghajtásához. A cikk írását megelőző irodalomkutatás eredményeként arra a megállapításra jutottunk. hogy legtöbb fentebb felsorolt követelményt a keresztcsatolt, ellenütemű működésű oszcillátorok teljesítik. Szakmai körökben az oszcillátor elnevezéséről kontinenseken átható vita alakult ki, amelynek konszenzusos „Kalitron oszcillátor" elnevezés lett. A csöves változat kihagyásával mindjárt a jFET-s alapkapcsolást láthatjuk a **23. ábrán**. Szándékosan egy ismert formában felrajzolva egy kissé módosított astabil multivibrátort fedezhetünk fel [16] aminek egyébként nincsenek amplitúdóingadozás-gondjai, és az oszcilláció is igen megbízható. Az egyenirányított kapuáram arányos a jelamplitúdóval, amelyet egy 100 µA-os műszer indikál. Azzal a ténnyel megint szembesülnünk kell, hogy ide is leágazásos tekercs szükséges, aminek kapcsán továbbgondoltuk a dolgot. Megjegyezzük, hogy az kapcsolás kísérleti példánya 450 MHz-ig működőképes volt!

Elkerülendő a középleágazásos tekercset, a kapcsolásunk a **24. ábra** szerint alakul, amely már egy komplett GDO-t mutat be. A főáramköri rész a módosított Kalitron oszcillátor. A drain-köri munkaellenállások (L2, R4, L3, R5) szerepéről már részletesen szóltunk. Mivel az oszcillátor tápfeszültséget nem a tekercsen keresztül kap, és a keresztcsatolás C2, C3 is állandó, a kapcsolásnak van egy jellegzetes sajátossága: nevezetesen tekercs nélkül is oszcillál, ilyenkor az oszcillációs frekvencia a rajzon szereplő értékekkel kb. 450 kHz. Többek között ez is ára az egyszerűbb tekercskészletnek! A nagyszintű jel amplitúdóját teljeshullámú egyenirányítás után műszeres kijelzés teszi láthatóvá. Úgy gondoljuk. hogy a főáramkör további elemzése már ismétlés lenne az előzőekhez képest. Konstrukcióját tekintve meghagytuk az [11]-ben alkalmazott kettős forgókondenzátort, az ott bemutatott tekercskészlettel. A légszerelés most is kívánatos lenne, de ebben az esetben egy nyáktervet (**25. ábra**) is készítettünk a velejáró beültetési



25. ábra

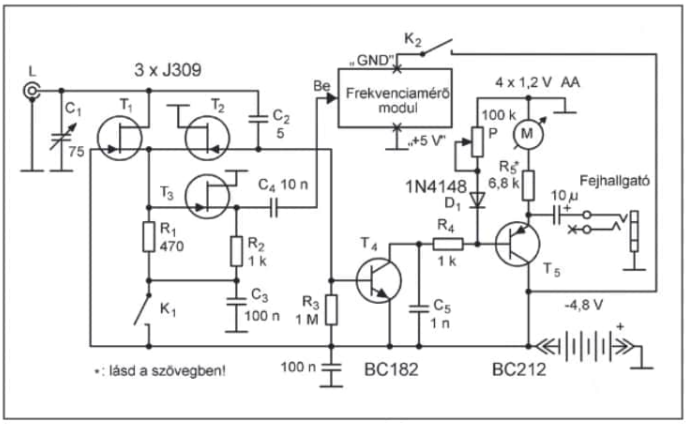
rajzzal (**26. ábra**).

A nyákterv a főáramköri rész szaggatott vonallal határolt szegmensét tartalmazza. Ezzel elrendeléssel, valamint a rendelkezésre álló hangoló kapacitással 150 MHz-es felső határfrekvenciáig lehet elmenni, aminek elsődleges behatárolója a műanyag forgónak ebben a tartományban már viszonylag nagy vesztesége. Jobb eredmény érhető el egy levegő dielektrikumú forgóval. A két RF-fojtó nem mutatott erős saját rezonanciát, az R_4 és az R_5 csillapító hatásának köszönhetően. A sávon belüli oszcillációs szint egyenletes, de sávonként változik. Ezt csak további kapcsolástechnikai módosítással lehet kiküszöbölni, amire [17] mutat példát. Ez utóbbi a T1, és a T2 helyére kétkapus MOSFET-et használ, ahol a második kapuelektródát sávonkénti szintszabályozásra lehet használni, de ekkor már bonyolultabb tekercselrendezéssel. Megjegyezzük, hogy a frekvenciatartományt az L2, L3 valamint a csatoló kondenzátorok értékének csökkentésével lehetséges kiterjeszteni, de az alacsonyabb frekvenciakörzetekben ekkor már nem oszcillál és az LC viszony a VHF-sávokban túl nagy ahhoz, hogy az oszcilláció fennmaradjon a forgó teljes szabályozási tartományában.

A 24. ábrán a fő áramköri részeken túl további kapcsolási elemeket látunk, amelyek „komfortosabbá" teszik GDO-nkat, A legfőbb kényelem a digitális frekvenciakijelzés. aminek szükségszerűségével már korábban foglalkoztunk. A két egység közötti kapcsolatot a kicsatoló egység hozza létre, amely lehet egy tranzisztoros fokozat, vagy éppen csak egy kondenzátor.

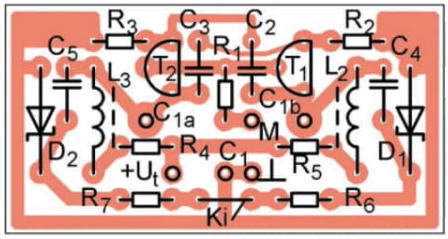
GDO-nkból modulátor egység alkalmazásával amatőr kézi szignálgenerátort kapunk. A moduláló eljárásra két példát is bemutatunk. Az [11]-ben is alkalmazott fázistoló oszcillátor kb. 600 Hz-es jele a Kalitron oszcillátor tápfeszültségének szinuszos ingadozását váltja ki az R9 és az R12 segítségével. Az így elérhető modulációs mélység kb. 25%.

A 24. ábrán a GDO aktív/passzív üzemmód váltására a K3 szolgált. Amennyiben vezérléssel itt avatkozunk be, szintén modulációt hozunk létre. Az IC2-vel felépített kb. 1,2 kHz-es négyszöggenerátora kikapcsolt helyzetében állandóan **H** szintet ad, így a T5-ön keresztül engedélyezi a Kalitron működését. A négyszöggenerátort elindítva, az a főoszcillátor 100%-os AM-jét eredményezi. Rajzunkon ez a megoldás



27. ábra

opcióként szerepel (szaggatott vonallal ábrázolva), alapmegoldásnak a fázistoló szinuszgenerátort választottuk. A választást megkönnyítendő egyrészt megismételjük,



26. ábra

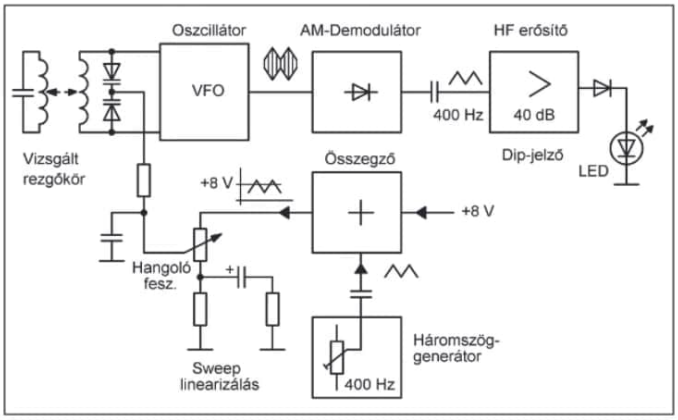
hogy a tápon keresztül szinuszjellel történő modulálás járulékos frekvenciamodulációt is okoz, így mindkét modulációs mód vizsgálható, másrészt megállapítjuk, hogy 100%-os AM-nél négyszögjellel az FM nem jön létre. Végül is kinek-kinek mire van szüksége, azt építi be, sőt, áramkörileg mindkét megoldás kialakítható egy készüléken belül! A GDO tápellátása 9 V-os telepről történik, amelynek nyers feszültségét az IC1 5 V-ra stabilizálja. A telep kímélése céljából a digitális frekvenciamérő kikapcsolható, csak a dip meghatározása után célszerű bekapcsolni rövid időre. Nem rajzoltuk a 24. ábrába, de itt is szóba jöhet a 19. ábra szaggatottan rajzolt áramköri részlete. A T1-ről jövő hangfrekvencia kapacitív csatolással jut T2 emitterkövetőhöz. Az alacsonyimpedanciás kimenet fejhallgatót táplál, ami akkor lehet hasznos, ha GDO-nkat hullámmérőnek, AM jelkövetőnek, vagy egy CW-jelre nézve heterodin vevőnek használjuk. De ez a téma már átvezet a dip-mérés gyakorlatába.

A leágazásos tekercset nem alkalmazó Kalitron oszcillátor problémája továbbra is az RF-fojtó (no meg a diódás egyenirányítás), mert széles frekvenciatartományban nehéz olyan induktivitást készíteni, amelynek sehol nincs rezonanciája és ezáltal nem szól bele a rezgőkör működésébe. Minden problémánkra „gyógyírt" ajánl [18] forrása, melyet átdolgozás és a frekvenciamérőkhöz illesztés után mi is ajánlunk olvasónak (**27. ábra**). Ez egy, a szerző által „Fél Kalitronnak" keresztelt, jFET-ekkel megvalósított (a magyar terminológia szerint Source-csatolt) oszcillátor, melynek a kimenete aszimmetrikus, és nem igényel kettős forgókondenzátort, valamint a rezgőkor egyik pontja földelt. Ennek olyan a megoldása, hogy a telep pozitív pólusa került földpotenciálra. A kísérleti példány furatozott próbapanelen készült el J309 FET-ekkel, felületszerelt alkatrészekkel, a nagyfrekvenciás tervezés elveinek alkalmazásával. Hangolóelemként japán zsebrádió forgókondenzátora szolgált. Ezzel a konstrukcióval megfelelő tekercscsel (egymenetes hurok) az áramkör 360 MHz-ig üzemképes. A frekvenciamerő-kimenet közvetlenül meg tudja hajtani az ismertetett mikrokontrolleres műszert. A készülék négy AA (UM3) méretű akkumulátorcellával működtethető. A frekvenciamerő *+5 V* pontja testpotenciálra a *GND* pontja pedig *–U*-ra kerül, de ez jó tápfeszültség-hidegítés esetén nem okoz problémát.

A forgókondenzátor kapacitásátfogását figyelembe véve, a rezgőköri induktivitással a felső határfrekvenciát célszerű kb. 220 MHz-re beállítani, ekkor az alsó határfrekvencia kb. 80 MHz. Az oszcillációs amplitúdó változása a hangolási tartományon belül csekély, a „dip" indikálása határozott.

Az oszcillátorkimenetet a T3, mint source-követő függetleníti oszcillátortól. Kimeneti feszültségszintje tekercsenként változik, de a tipikus effektív értéke 250 mV nyitott kimenetnél, ill. 50 mV 50 ohmos lezárásnál. Ez nem csak a frekvenciamérő meghajtásához elegendő, de külső jelforrásnak is, pl. hibakereséskor.

A T4 tranzisztor kettős feladatot lát el. Bázis-emitter át-



28. ábra

menete RF demodulátor, ugyanakkor DC-erősítő is, amelynek kimeneti jele a T5, pnp emitterkövetőt vezérli. Ez utóbbi az M indikátort (magnó kivezérlésjelzőt) hajtja meg. A rajzon szereplő alkatrészértékek 200 uA-es műszerhez megfelelők. Ettől eltérő érzékenységű alapműszer esetén R5 cseréje szükséges. A passzív üzemmódra úgy állhatunk át, hogy az oszcillátor tápellátását a K1 kikapcsolásával megszüntetjük. Az áramköri egység áramfelvétele 4-5 mA.

A konstrukciós részleteket már részben érintettük, de nincs akadálya egyéb egyedi kivitelezésnek. A technológiából adódó tulajdonságbeli eltéréseket az előzőekben részletesen elemeztük. Az adott hangolókondenzátorhoz szükséges tekercskészlet elkészítése, illetve gyors módosítása a beépített frekvenciamérő kijelzései alapján nem jelenthet problémát. Ami pedig a frekvenciamérőt illeti, a GDO panelttől a frekvenciamérőre menő koax vezeték külső erét is egy 100 nF-os kondenzátorral le kell választani, mivel az oszcillátor pozitív testelésű! Ugyancsak megoldható az igény szerinti modulálhatóság kérdése is az előző példák valamelyike szerint.

6. Egy kísérleti darab

Az eddigi fejezeteinkből „kisugárzik" az a megállapítás, hogy szinte mindegyik dipméter többé-kevésbé a következő gyenge pontokkal rendelkezik:

– az oszcillátor amplitúdója a hangolási tartományon belül- a konstrukció és a kivitelezés függvényeként- változik, ingadozik. Ez a jelenség meg erősen függ a választott frekvenciatartománytól. Ezek a típusok tehát tartalmaznak egy érzékenységszabályozót, amit szinte folyamatosan „bizgerélni" kell, hogy a kijelző mutatóját kb. a teljes skálaívre vonatkoztatott 2/3 részénél tartsuk. Ennél a beállításnál lehet ugyanis a dipet a legjobban tetten érni. Magasabb frekvenciákon meg gyakorta nem is lehet ezt a 2/3-ad értéket beállítani. A második közös tulajdonság a csatolás kérdése a mérendő „objektummal". Ahhoz, hogy kellő mérési pontosságot érjünk el, s az elhangolódást is minimalizáljuk, a dipmérő tekercsét a lehető leglazábban kell csatolásba hozni a tesztdarabbal. Egy átlagos GDO pedig ekkor sokat veszít érzékenységéből oly annyira, hogy a dip jelenséget többé-kevésbé csak gyanítjuk, mintsem látjuk.

Mivel írásunk ezen fejezetében olyan konstrukciókat igyekszünk bemutatni, melyek talán hatásosan küzdenek a fenti hátrányok ellen, így egy egészen újszerű elven működő megvalósítási lehetőséget ismertetünk. Az ötlet kidolgozása a német QRP Club tagjaihoz köthető (DK1HE, DL7NIK), s a neten is a *„DipIt, the ultimate Dipmeter"* fantázianévvel hozzáférhető. A téma ideillik, bár „bonyolultsága" nem egyezik a GDO-k építési alapelvével, így nagy teret nem nyert az amatőrépítők körében. Viszont a széles látókör mindenkinek jár, így a konstrukciót, igaz, jelentősen leegyszerűsítve, mi sem kerülhetjük ki.

A működési elvet a **28. ábra** tömbvázlata mutatja. Az áramkör lelke egy varikap hangolású VFO, melynek hangolási átfogása egy oktáv (2:1 frekvenciaarány). A varikap normál hangolófeszültségére egy kisamplitúdójú háromszögfeszültséget szuperponálunk. Az eredmény pedig a vivő középértékénél létrejövő szimmetrikus frekvenciamoduláció (sweepelés). A választott frekvenciashift az aktuális oszcillátor-frekvencia ±0,2%-a, a löket pedig kb. 400 Hz. Ez a jel „munkálkodik" a vele rezonanciában levő vizsgált rezonásns körön is, mintegy „körüljárva" annak rezonanciagörbéjét. Megjegyezzük, hogy egy hagyományos GDO esetén ugyanezt teszi annak kezelője manuálisan, csak sokkal lassabban.

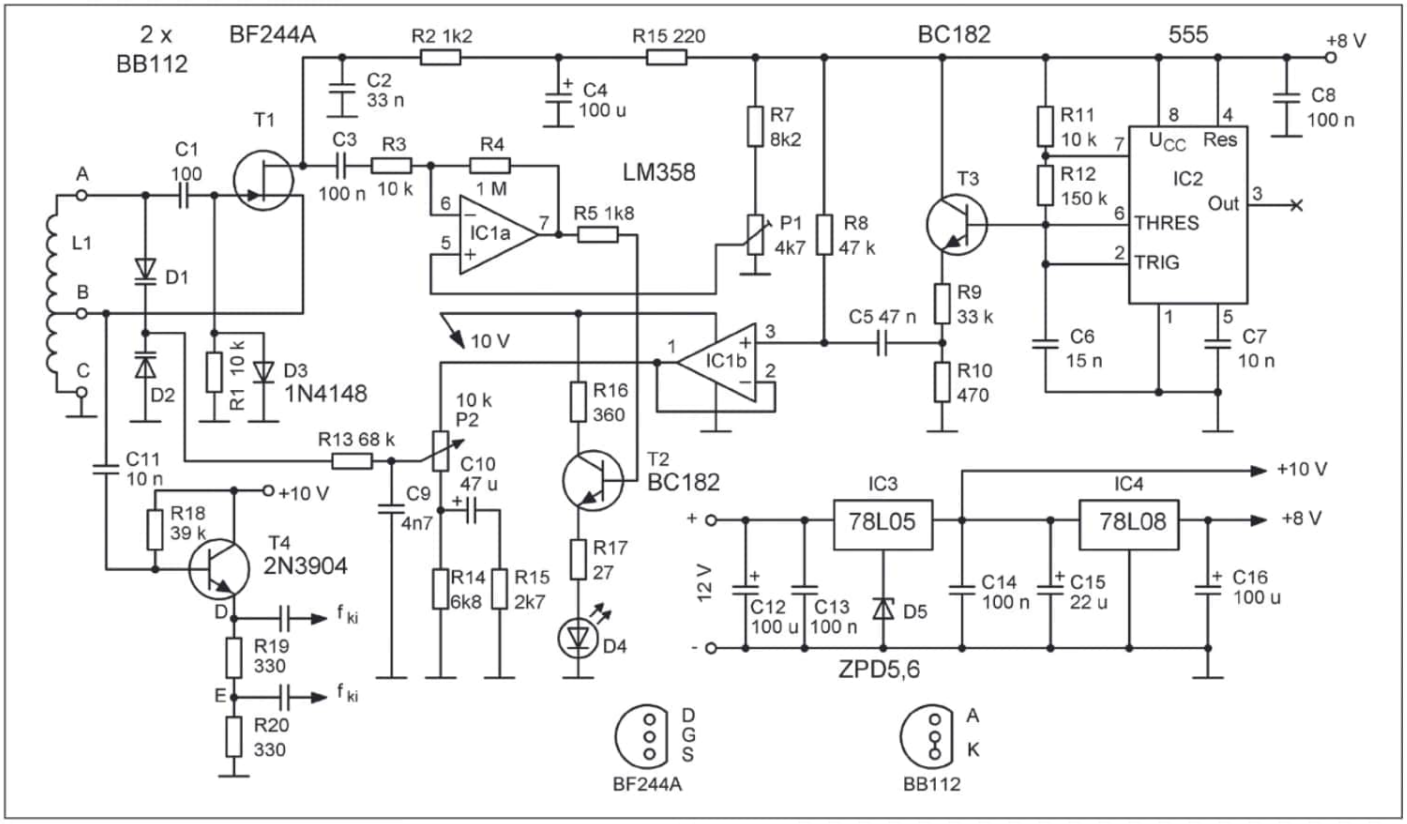
A VFO válasza pedig erre a szituációra egy 400 Hz-es amplitúdómoduláció annak nagyfrekvenciás kimeneti feszültségénél annak okán, hogy a vizsgált kör több-kevesebb energiát von el a VFO-tól, attól függően, hogy mennyire vannak rezonanciában egymással. A modulációs mélység annál nagyobb, minél jobban megegyezik az oszcillátor közepes frekvenciája a vizsgált kör rezonancia maximumával, vagy minél erősebb csatolást hozunk létre. A demodulátor fokozat kapacitív csatolással különíti el a 400 Hz-es AC jelet. A berendezés tartalmaz egy egyszerű hangfrekvenciás erősítőt 40 dB erősítéssel, amivel a demodulált jelet erősítjük fel a kijelzéshez megfelelő szintre. A kijelzés most LED-es megoldású, annak felvillanása arányos a jel egyenirányítás utáni erősségével. (Megjegyezzük, hogy e helyen hagyományos mutatós műszer is használható.)

A fentebb ismertetett mérési eljárásnál az NF oszcillátor abszolút szintje teljesen lényegtelen szerepet játszik (így bátran ingadozhat), mert a kiértékelés a modulációs tartalmat vizsgálja. Ebből következik, hogy az érzékenységszabályozó potenciométer el is hagyható. Továbbá, mivel a demodulált 400 Hz-es jel szinte tetszőleges mértékben erősíthető, így az új típusú dipmérő érzékenysége markánsan nagyobb lehet a már ismert megoldásokkal szemben.

6.1. A kapcsolás

A tömbvázlatnak megfelelő tényleges elvi rajzot az **29. ábrán** mutatjuk. A T1 és áramköri környezete egyrészt a Hartley-oszcillátor alapú VFO-t alkotja, másrészt a demodulátor funkciót is beölti. Az oszcillátor hangolt köre a cserélhető tekercs(készlet), valamint a két szembe kapcsolt (D1, D2) kapacitásdióda. Ez utóbbi(k) hangolófeszültségét P2-vel tudjuk megválasztani. Az oszcillátor kialakítása az amatőr RH sáv lefedését (kb. 1...45 MHz) öt lépésben biztosítja, sávonként egy oktáv átfogással. D3-nak itt kettős szerepe van: egyrészt a FET automatikus előfeszítését valósítja meg, másrészt AM demodulátorként is funkcionál. A T1 kimeneti jelére nézve R2-C2 aluláteresztő szűrőként jelentkezik, melynek letörési frekvenciája 4 kHz. Ebből a tényből következik, hogy a FET drain elektródájánál nem láthatunk NF feszültséget, ott már csak az általa felerősített demodulált 400 Hz-es jel lehet jelen.

A moduláló jelet az astabil beállítású timer (IC2) állítja elő. A szokásos kimeneti négyszögjele helyett itt most a 6. kivezetésen (Threshold) mutatkozó szimmetrikus háromszögje-

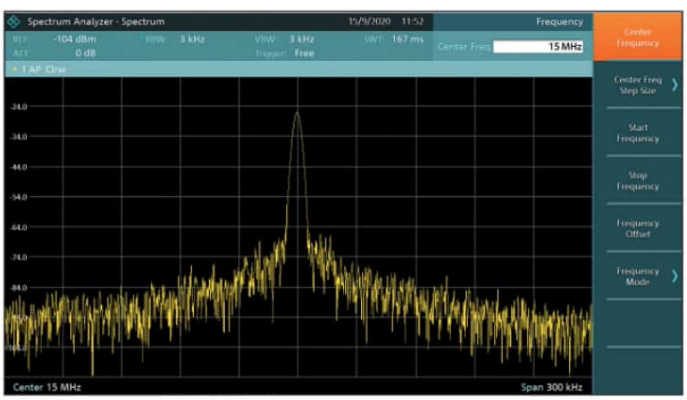


29. ábra

let használjuk, melynek frekvenciája a rajzi adatokkal kb. 400 Hz. Ezen a ponton a háromszögjel kb. csúcstól csúcsig 2,7 V amplitúdójú, ami 4 V DC-n ül. Ezt a jelet T3 közbeiktatásával R9, R10 osztó effektív értékben 14 mV-ra osztja le, ami az optimális löketarányt biztosítja. Az IC1/b pedig összegző fokozatként funkcionál: a neminvertáló bemenetén egyrészt az R8-an keresztül DC 8 V-ot kap, és még itt jelentkezik C5 útján az előbbi háromszögjelünk is. A műveleti erősítő kimenete tehát egy 8 V-on ülő igen kis amplitúdójú szimmetrikus háromszögjel. Ez képezi majd a varikap hangoló feszültségét, amit pedig P2, R14 állít be 3,25….7,9 V-ra. A P2, C10, R15 a háromszögjelre nézve alkot osztót, ami egyben linearizálja a kapacitásdiódák nemlineáris feszültség/kapacitás karakterisztikáját (lásd korábbi fejezetünket). Ez a „jelenség” különösen az alacsonyabb feszültségtartományoknál lehet zavaró. Ezzel a „bonyolult” hálózattal elérhető a majdnem konstans sweep eltolás a teljes eltérítési területen.

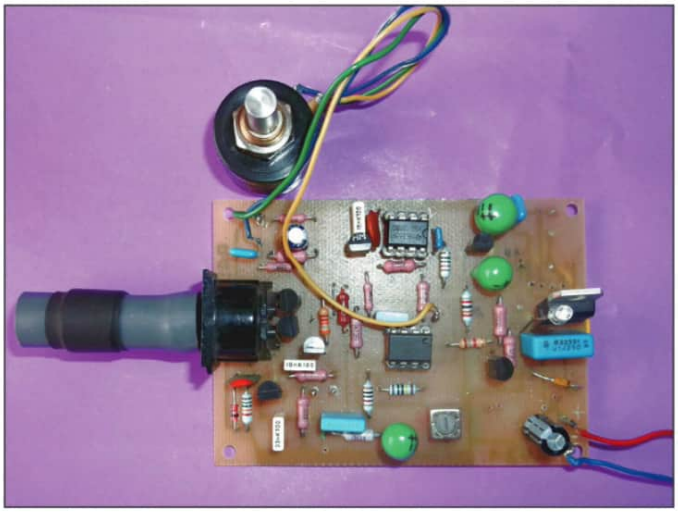
A könnyebb megértés miatt ezen a ponton már szükségesnek tartjuk a jelenséget képileg is illusztrálni. Az **30.a ábra** az oszcillátor működését mutatja az egyik tekercsével beállítható 15 MHz-es frekvencián. Ekkor még a sweepgenerátort leállítottuk. Az **30.b ábrán** már a háromszögjellel sweepelt jel spektruma látható ugyanazon a 15 MHz-es frekvencián. Az analizátor 3 kHz-es felbontási sávszélessége (RBW) mellett szépen mutatkozik a szimmetrikus eltérítés, valamint a markerek értékeiből számítható, hogy frekvenciaeltérítés mértéke 0,25%-ot ad, ami jól egybecseng korábbi állításunkkal.

A dip találatjelzés LED-es megoldású. Ehhez szükség van egy erősítő fokozatra (IC1/a), melynek erősítését R4-R3 állítja be −100-szoros értékre. A P1-el a műveleti erősítő nyugalmi kimeneti DC szintjét állítjuk be úgy, hogy a LED (D4) alaphelyzetben (AC jel nélkül) éppen csak parázsló fénnyel világítson. Ráadásul ebben a „munkapontban” az áramkör kvázi egyenirányítóként is működik. A dipnél jelentkező AC jel pozitív félhulláma periódikusan begyújtja a LED-et. A T2 az OPA-t tehermentesíti és R16 a LED áramát limitálja kb. 20 mA-re. Az áramkör tartalmaz egy NF elválasztó fokozatot is (T4), ami a digitális frekvenciamérő számára jelent jelforrást.



30.a ábra

30.b ábra



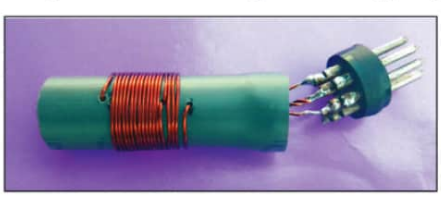
31. ábra

Kérdésként vetődhet fel, hogy mit is kezd a digitális frekvenciamérő egy sweepelt jellel? Alapból a [14]-ben bemutatott 4 digites frekvenciamérőt terveztük minden bemutatott konstrukciónál alkalmazni. Vizsgálatainknál egy nyolcdigites műszert alkalmazva elmondhatjuk, hogy ilyen kislöketű jelnél, mint ez is, a frekvenciasöprést csak az ötödik, de inkább a hatodik digit veszi észre, az első négy digit rezzenéstelen stabil kijelzést mutatott.

Némi dilemmára adhat okot a tápellátás kérdése. Tekintettel áramkörünk kísérleti jellegére, többféle megoldást is kipróbáltunk. Stabil 8 V-os feszültségforrás kell a varikap hangolásához, valamint, hogy ezt a feszültséget az IC1 lineárisan fel tudja dolgozni, legalább 10 V-os betáplálásra van szüksége. (Itt most eltekintettünk az ajánlott digitális frekvenciamérő +5 V-os tápigényétől.) Első lépésben készült hozzá egy DC-DC konverter az MC34063-as IC-vel, ami az 5 V bemenőfeszültségből (dugasztáp) előállította ezen szükséges értékeket. A beüzemelés során vált világossá, hogy a dolog ennél egy kicsit összetettebb. Az IC feszültségnövelő kapcsolóüzemű működése okán annak kapcsolójele a klasszikus szűrőáramkörök használata mellett kismértékben ugyan, de ott lesz a tápon is. Csakhogy a varikap vezérlésének lényege a 8 V-os tápon ülő kisszintű háromszögjel. Nos, ezt zavarja össze a táp IC szintén ott levő kapcsolójele. Megoldás lehet az átlagosnál precízebb LC szűrőkör alkalmazása a 8 V-os tápágban, vagy eltekintünk a kapcsolóüzemű táptól. A „gyengébb ellenállás" irányába tartva ez utóbbit választottuk, amit az ábrán láthat is az olvasó. Különösebb magyarázat nem kell hozzá, az elektronika így pl. egy 12 V-os dugasztápról működhet.

6.2. Elkészítés, beállítás

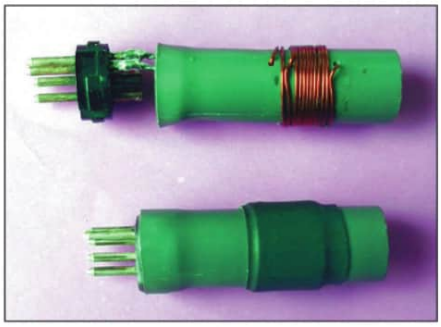
Fejezetcímünk is kísérleti jelzőt használ erre az áramkörre, de a konkrét feldolgozásunk már egy letisztultabb formát eredményezett. Ennek megfelelően egy olyan nyomtatott áramkört készítettünk hozzá (**31. ábra**), amely a deszkamodellnél áttekinthetőbb megjelenésével könnyebben biztosít modosítási lehetőségeket. A végleges – pl. a kisméretekre optimalizált – megvalósítást pedig az érdeklődő olvasók lehetőségeire bízzuk. Az egyes fokozatok részletes elemzésénél megadtuk az üzemi értékeket is. Ezeket a fokozatos beültetés során külön-külön mérhetjük, szándékunk szerint módosíthatjuk. Csupán példának említjük, hogy az oszcillátor érzékenysége némileg növelhető, ha R9 értéke 15 kohm-ra módosul. A frekvenciahangoláshoz pedig célszerű P2-nek helipotot alkalmazni.



32.a ábra

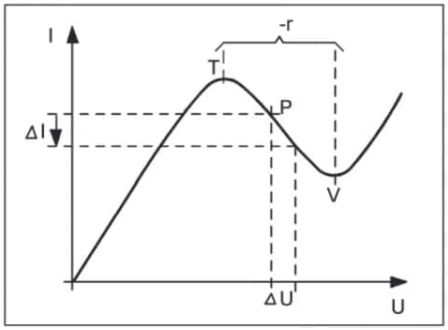
Minden GDO-nál sarkalatos kérdés a tekercskészlet kivitelezése. Az eredeti forrás 5 sávban fogja át az amatőr RH sávot, s ennek megfelelően 5 tekercset is használ. Sajnálatos tény, hogy az oszcillátor típusa okán leágazásos tekercseket kell készítenünk. Csatlakozónak ötpólusú DIN (Tuchel) dugaszkészletet (anya-apa) választottunk, melynek „anya" darabját nyákos kivitelben terveztük megvalósítani (lásd 31. ábra). A tekercs csévetestnek többféle fellelhető készség szóba jöhet Ø12,5…15,5 mm-ig. Így pl. lefűrészeltünk egy műanyag fecskendő hengeréből egy darabot (Ø14,5 mm), de eredményes próbát tettünk a 12,2 mm átmérőjű villanyszerelési védőcsővel is, amely mellé végül le is tettük a voksunkat a könnyű beszerezhetőség okán. *Az alábbi kivitelezési leírásunk meg tipikusnak tekinthető, más GDO konstrukcióknál is hasonlóan járhatunk el.* A csévetest tipikusan kb. 35 mm hosszú legyen, és a tekercselést a végétől 15 mm-re kezdjük el. A menetszámok meg a csévetest átmérőtől, és persze a frekvenciatartománytól függnek. Egységes receptet csak abban lehet adni, hogy a leágazások minden sávnál az összmenetszám 20…30%-nál legyenek.

Egy konkrét példánál legyen a működési sáv: 9,5…19,5 MHz. Leszabtuk a 35 mm-es villanyszerelő csövet. A tuchel dugóból kiszedtük a műanyag betétet, majd annak „kapaszkodóit" lereszelve (köszörülve) egy 12 mm átmérőjű 5 tüskés dugót kapunk. A műanyag cséve egyik végét melegítéssel erre a méretre feltágítva ez a dugó szépen belecsúszik ebbe a tágulatba. Ennél a frekvenciatartománynál az összmenetszám 18 volt, a leágazás pedig a 4. menetnél. A huzalátmérő 0,5 mm CuZ anyagból legyen. A szorosan menet menet mellé tekercselt huzalokat a megfelelő ponton kifúrt Ø1 mm-es furaton keresztül kivezetjük a csévetestből. A huzalvégeket a tuchelhüvely elrendezésének megfelelő (ha van nyáktervünk hozzá) sorrendben felforrasztjuk a dugó megfelelő tüskéire. Ezután még eben a „szétbontott" állapotában frekvenciapróbát tartunk. Szinte biztos, hogy egy-egy utángyártott darabot korrigálni kell. A véglegesítés után a meneteket pl. zsugorcső rámelegítésével rögzíthetjük, majd a dugót valamely kétkomponensű ragasztóval beragasztjuk a csévetestbe. Ügyes kezek gyári minőségű kivitelt adhatnak a tekercskészletnek. Az **32.a** és a **32.b ábra** pedig illusztrációul szolgál az eddig elmondottakhoz. A téma iránt konkrétan érdeklődők pedig a netes forrásban [19] további részleteket találhatnak, de hangsúlyozzuk, az csak tájékoztató jellegű, az adaptáláshoz mindenképpen kísérletek kellenek! Mi is ezt tettük az általunk választott cséveátmérő miatt.

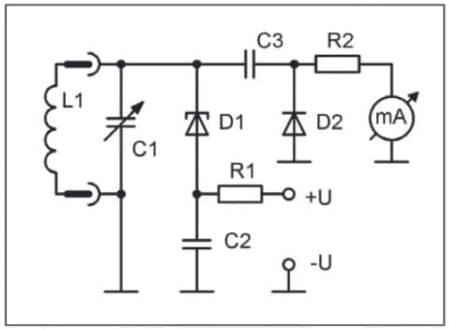


32.b ábra

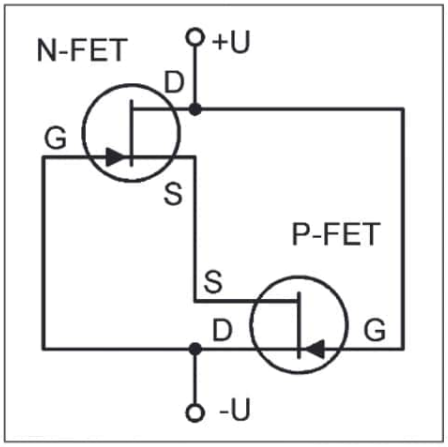
Alsóbb frekvenciatartományoknál természetesen egyre



33. ábra



34. ábra



35. ábra

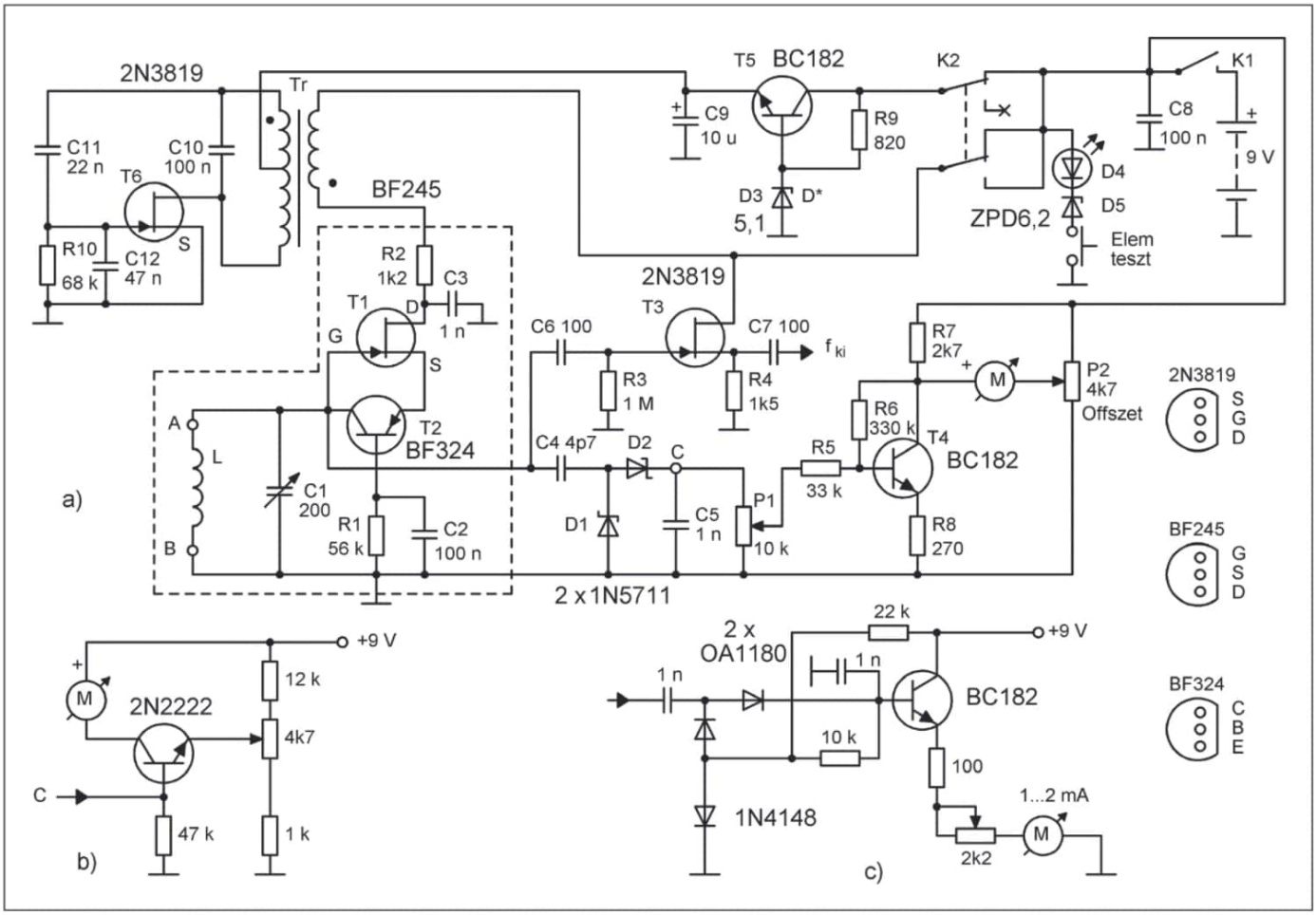
növekvő menetszámokkal találkozunk, praktikusan csökkenő huzalátmérővel. Itt újabb kísérletre van lehetőségünk. Logikusnak tűnhet pl. ferritmag használata az alsóbb sávokon, amely a menetszámot drasztikusan csökkentené. Az elmélet meg azt mondja, hogy a vasmag pedig erősen nyalábolja a fluxusvonalakat a tekercs belsejében, az oszcilláció túl „stabil" lesz. Ez azt eredményezheti, hogy a dipet nehezebben lehet kiváltani, észrevenni. A célunk pedig éppen ennek ellenkezője volt. Dacára mindezeknek, próbáljuk ki a ferritmagos változatot is, miként azt már [11]-ben is alkalmaztuk, s ugyanott írtuk le a ferritrúd darabolásának egyszerű módszerét is. Végezetül egy működési gyorsteszt. Adjunk tápfeszültséget az áramkörnek, majd P1 segítségével állítsuk be a LED éppen parázsló fényét. Kezünkkel érintve a bedugaszolt tekercset az oszcillációs amplitúdó hirtelen csökken, a LED élesen felvillan. Az egység működésre kész.

7. A lambdadiódás dipméter

Az ismertetésre kerülő dipmérő lelkét az elektronika „mostoha gyereke", az ún. lambdadióda – mint kvázi aktív elem – adja. Mivel feltehetően sok olvasó régen, vagy egyáltalán nem hallott erről a fura nevű szerzetről, így talán megéri egy kis kitérőt tenni, s némi időt (s néhány sort) szentelni ezen eszköz bemutatására. Tény, hogy nem egy unalomig szokásos áramköri megoldásról van szó, s valahogy a GDO-technikában sem vert igazán gyökeret. A vele készült GDO nem jelent megváltást az eddig hangoztatott GDO-problémákra, de a kuriózum okán idecsempészünk azért néhány, máshol már helyet nem kapott áramköri „csemegét" is.

Amennyiben a „lambdadióda" terminológia szokatlan, vagy ismeretlen az olvasónak, úgy véljük, hogy a többségnek a „tunneldióda" (alagútdióda) már inkább ismerősnek hat. Gyorsan le kell szögezzük: a két dolog csak a végeredményben (karakterisztikájában) hasonlatos, alapból két teljesen különböző dologról van szó. Az alagútdióda egy konkrét P és N réteget tartalmazó, eredendően germánium egykristály, tokozva tehát egy alkatrész. A lambdadióda pedig egy kapcsolástechnikai elrendezés, melynek működési megértéséhez mégiscsak a tunneldiódát kell górcső alá vennünk. Az alagútdióda tehát egy nagymértékben szennyezett P-N átmenetből áll. A félvezető lehet Ge, Si, vagy GaAs alapanyagú. A felépítési részleteit itt nem boncolva, annál sokkal fontosabb működési jelleggörbéjét vizsgáljuk meg **(33. ábra)**. Karakterisztikájának egy fontos szakasza egy negatív meredekségű rész, amely a kvantummechanikai ún. alagúthatás következménye. (Ezt a jelenséget egy japán fizikus, *Esaki* fedezte fel, s gyakorta az alagútdiódát Esaki diódának is nevezik.) A görbe minden pontja egy r_a differenciális ellenállással jellemezhető. Látjuk, hogy növekvő nyitófeszültséggel az alagútáram is arányosan nő egy maximális értékig, (az ábrán T ponttal jelöltük) majd a nyitóirányú feszültség további növelésével azonban az áram rohamosan csökken egészen a völgypontig (jelölve V-vel). Innen pedig az áram ismét nő, s a továbbiakban a görbe egy közönséges diódának megfelelően alakul. A T-V közötti szakaszt pedig negatív ellenállású résznek tekinthetjük, az alagút dióda differenciális ellenállása (r_a) negatív. Hogyan is értelmezzük ezt? Tegyük fel például, hogy a „P" munkapontunk valahol a T-V tartományon van. Ekkor a nyitófeszültséget ΔU mértékben megnövelve az áram ΔI értékkel csökken. Így a dióda ellenállására írhatjuk: $-r_a = \Delta U/\Delta I$.

A kérdés most már csak az, hogy mit is kezdhetünk ezzel a jellemzővel? Határozottan kijelenthetjük, hogy a negatív ellenállás (szemben a közönséges ellenállással) aktív áramköri elemként viselkedik, s mint ilyent erősítő fokozatok, oszcillátorok építésére használják. A megfelelő hatásfok elérése érdekében főleg nagyfrekvenciás (gigahertzes) tartományban használatos. Tudjuk, hogy csillapítatlan szinuszos rezgések előállításához két módszer jöhet számításba: pozitív visszacsatolású erősítő, vagy egy negatív ellenállású karakterisztikával rendelkező elem használata. Ez utóbbit alkalmazva, a létrejövő oszcillátort nevezik még belső visszacsatolású oszcillátornak is. Egy ilyen alkatelem képes egy rezgőkör veszteségeit pótolni, ha azt a rezonáns körrel párhuzamosan (vagy sorosan) kapcsoljuk **(34. ábra)**. A tunneldódás oszcillátornak számos előnye van: alacsony fogyasztás, jó frekvenciastabilitás, s az elvéből adódó egyszerűség. A FET-ek megjelenésével az első két előny kiszorítani látszott az alagútdiódát az ebbéli alkalmazásból. Továbbá az is nagy gond, hogy eredményesen csak a gigahertzes tartományban használható, ami ugye meg nem a GDO sajátja. Hogy minden gondunk a helyére kerüljön, s a tunneldiódás elvű oszcillátor egyszerűsége is megmaradjon, jött létre az ún. lambdadióda. Ez egy áramköri elrendezés, ami az előzőhöz hasonló karakterisztikával rendelkező FET-es struktúra **(35. ábra)**. Itt két P-N átmenetű, de különböző vezetőképességű csatornájú jFET-et látunk, melynek anódja és katódja között hasonló negatív ellenállás karakterisztikával rendelkezik, mint a tunneldióda, s széles körben lambdadióda néven ismert. Azonban az elvnek van két gyakorlati alkalmazhatósági fékje is. Az egyik, hogy a P csatornás nagyfrekvenciás jFET beszerzése nehézkes lehet, továbbá ugyanezen alkatelem átviteli jelleggörbéje relatíve lapos. Éppen ezért gyakorta a P csatornás FET-et szokás egy PNP bipoláris tranzisztorral helyettesíteni. Kapcsolásunknál is ezt a fogást alkalmazzuk, jóllehet, hogy az „igazi" kétfetes elrendezésre is találhatunk megvalósított példát [20].



36. ábra

A dipáramkörünk ezek után a **36. ábrán** látható. A „szigorúan vett" oszcillátor részt bekereteztük, egyúttal utalva arra a technológiai megfontolásra, hogy azon alkatelemeket érdemes magára a forgóra koncentráltan felépíteni. Itt már mutatkozik is a lambdadióda használati előnye: nem szükséges leágazásos tekercs, de kettősforgó sem! Igaz, ezt a „feltételt" a 27. ábránk konstrukciója is teljesíti. (Emlékezzünk: a Collpitts oszcillátornál sem kell tekercsleágazás, viszont szimmetrikus kettősforgó igen.) Ehhez is van azért annyi megjegyzésünk, hogy aszimmetrikus kettősforgóból is lehet – némi „macera" árán – Collpitts oszcillátort készíteni.) A lambdadióda munkapontját az R1, C2 komplexum állítja a megfelelő karakterisztika pontra. Minden további kötelező, és szabadon választott funkcionális áramköri részlet pedig már igen változatos formát ölthet. *Cikkünk írásakor szándékosan vállaltuk fel, hogy a bemutatott GDO „fogásokat" nem visszük el a komplexitás irányába, szorítkozunk csupán az alaprendeltetésének megfelelő működésmód(ok) elemzésére.*

Ahogy pedig meg mondják, a kivétel erősíti a szabályt, s – sportnyelven szólva – a következő „ziccert" nem hagyhattuk ki szellemességének okán. A dipmérők leggyakrabban bevetett „bonyolítása" a modulációs lehetőség megvalósítása. Az elektronikai megoldások ismertetése oldalakat tenne ki, az olvasó megtalálhatja azokat a nagyszámú irodalomban. Viszont szó esett már az oszcillátoroknál (s mint ilyen mégis csak alapeset), hogy az oszcillációs rezgéseket általában RF fojtóval választjuk el a tápláló áramforrástól, a káros visszahatást elkerülendő. Igaz annak meg hátulütőit is tárgyaltuk, de tegyük fel, hogy mégis azt alkalmazzuk. Rajzunkon tehát fojtó gyanánt – melynek induktivitásértéke nem kritikus – egy Tr transzformátort látunk, pontosabban annak egyikoldali tekercsrészét. Ez pedig nem más, mint egy középleágazásos primerű, s 8 ohmos hangszóróhoz illesztett szekunderű kimeneti transzformátor. A fojtót tehát a Tr szekunder része képviseli. Egy tranzisztoron már ne múljon a dolog, s így T6-ra épülően egy szinuszos HF oszcillátor készült. A Tr szekuderén létrejövő szinuszos rezgés pedig annak ütemében változtatja az oszcilátor tápfeszültségét, azaz az RF jelet modulálja. A moduláló jel frekvenciáját alapvetően a transzformátor jellemzője határozza meg, s mint ilyen ahány féle, annyi frekvencia lehetséges. Mindenesetre a kapcsolódó RC elemekkel állítsunk be úgy 400 Hz körüli értéket. A mintapéldány esetében ez a rajzi adatokkal 330 Hz volt. Tekintettel a szinuszos modulációra az AM mód mellett járulékos FM üzemmód is előáll, ami igény szerint lehet hasznos, vagy éppen ellenkezőleg.

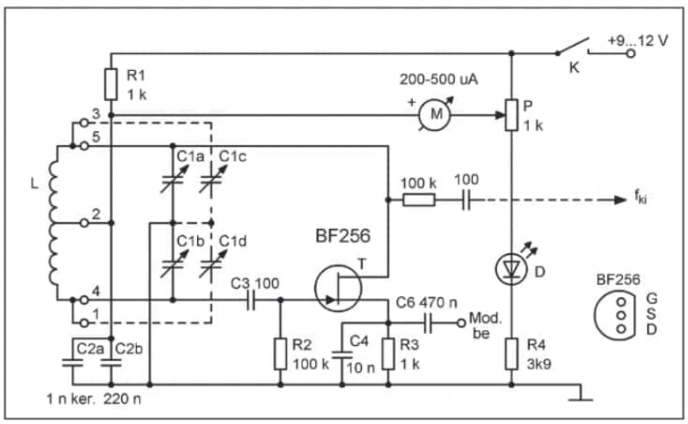
Ide kapcsolódik a T5-tel kivitelezett segédtápegység is, amely csak a HF oszcillátor tápellátását oldja meg, de azon túlmenően is van fontos szerepe. Ugyanis a HF oszcillátor 9 V-ról a szekunder tekercsén (a mintánál használt trafótípussal) csúcstól csúcsig 25 V nagyságú jelet adott, ami az oszcillátorra nézve nem túl szerencsés. Maga a kisfrekvenciás oszcillátor már 3 V-tól szépen működött, s 3,5…5 V tápfeszültségtartománynál 25…100%-os modulációs mélységet váltott ki a NF oszcillátornál. Tehát T5 bázisköri Z diódájának 3,9…5,1 V-os átkapcsolgatásával (azaz áramköri bonyolítás) az előbbi modulációs mélységek állíthatók be.

Amennyiben ez nem követelmény, úgy egy 78L05-os stabilizátor is megteszi T5 helyén, fix modulációs mélységgel.

Az NF jelet a feszültségkétszerező beállítású egyenirányító fokozat követi, ami a műszeres kijelző egységet vezérli. Korábbi fejezetünkben egy félmondattal már utaltunk rá, hogy a dip indikálása tipikusan jelminimum értéknél következik be, de lehetséges ez maximumra hangolással is. Ez utóbbira mutat példát a **36.a ábra** megoldása, ahol a T4-es erősítő fokozat fázisfordítást is végez, így dip esetén maximum jel keletkezik. A fokozat deluxe szolgáltatása pedig a P2-vel megvalósítható 0-ra (vagy tetszőleges offszetre) állítás lehetősége. Ugyancsak egy lambdadiódás, és maximumra hangolási áramköri megoldást olvashatunk a [21]-ben. A 36. ábra **a** és **b** részlete egy-egy kijelzési variánst mutat, de már a hagyományos minimumra hangolási metodikával, amivel mintegy kiegészítettük egy korábbi fejezetünk „rajzgyűjteményét". Valamennyi megoldási javaslatunk a könnyebben hozzáférhető magnó kivezérlésjelző műszerekhez ajánlott, érzéketlenebb példányok esetében, ami különösen a „c" részletrajzra igaz. Még két apróság figyelhető meg a rajzunkon. A frekvenciamérő részére van egy jelkicsatoló elválasztó fokozat (T3), hogy ne terheljük az oszcillátort. A másik, talán a legegyszerűbb telepfeszültség-ellenőrző áramköri részlet: a telepfeszültség 8 V alá csökkenése esetén a LED már nem világít. A berendezés K1 kapcsolója a főkapcsoló, míg a K2 egy háromállású (középen off) kétáramkörös kapcsoló, amivel a GDO aktív/passzív üzemmódját választhatjuk meg. Ami pedig a tekercskészletet illeti, annak adatai, és kivitelezési metodusa teljesen megegyezik a korábbi fejezetünk technológiai leírásával, konkrétabban meg vagy a [22]-ben, vagy a [23]-ban olvashatunk róla. Ugyanitt azt is megfigyelhetjük, hogy a forgót (bár nem ajánlatos) teljes mértékben kiválthatjuk pl. *Egy kísérleti darab* c. fejezetünk varikapos megoldásával, persze a háromszögjel elhagyása mellett.

8. Az egyszerű a nagyszerű?

Az alábbiakban bemutatandó kapcsolást aztán tényleg nevezhetjük hétvégi alkotásnak annyira egyszerű elkészíteni. Dacára ebbéli tulajdonságának mégis tudunk előnyös tulajdonságával újat mutatni. Ehhez tekintsük a **37. ábra** elvi kapcsolási rajzát! Korábbi fejezeteinknél csak érintőlegesen a [11]-ben pedig részletesen foglalkoztunk a GDO-knál alkalmazott diódás egyenirányítók problémakörével. Jelen esetben ez a gond fel sem vetődik, itt a dip-et másképpen érzékeltetjük. Az áramkör maga egy Wheatstone-híd, amelynek az egyik ellenállását maga az oszcillátor adja. A működő oszcillátor kb. 9 kohm impedanciát képvisel. A vele soros R1 adja a híd egyik



37. ábra

ága, míg a másikat a P-D-R4 alkotja. A mérőműszer így a hídátlóba van kötve (az ellenállásosztók osztáspontjai), amely a szokásos módon jelzi a beállított hídegyensúly felbomlását. Ez utóbbit természetesen a dipnél jelentkező oszcillációs amplitúdó (impedancia) változás váltja ki. A kisáramú (2 mA-es) LED csupán „kényelmi" szolgáltatás, az osztóláncot átméretezve el is hagyható.

Az R1, C2 komplexum meg egyúttal a tápoldali csatolásmentesítést is megvalósítja. Kissé szokatlannak tűnhet a 220 nF+1 nF párhuzamos együttese, melynek számszerűségi oldalról semmi értelme nem lenne. Viszont tudnunk kell, hogy a kondenzátorok bizonyos frekvenciákon rendelkeznek némi saját rezonanciával. Ha két olyan, *eltérő dieletrikumú* kondenzátort kapcsolunk párhuzamosan, melynek egyik tagja nagyságrendekkel nagyobb értékű, mint a másik, akkor minden működési frekvencián jó csatolásmentesítő kondenzátorhoz jutunk. (Másképpen fogalmazva alacsony reaktanciát biztosít széles frekvenciatartományban.) A két kondenzátornak párhuzamosnak kell lennie annak érdekében, hogy az egyik a másikat „kijavítsa". A GDO itteni mérőkörénél fontos, hogy a táplálási vonal ne legyen rezonáns, különben a GDO önmagát mérvén hamis dip-et mutat.

8.1. Elkészítés

Tipikusan olyan áramkörről van szó, amelynél fel sem vetődik a nyomtatott áramköri kivitel. Azt a 3-4 alkatrészt közvetlenül a forgóra kell szerelni. A forgókondenzátor lehet csak AM rádióból kitermelt kétszektoros típus (pl. 200+200 pF), vagy az AM/FM kombinált üzemmódot használó négyszektoros (20+20/200+200 pF) kivitel. Rajzunkon szaggatott vonallal jelöltük az üzemi választás lehetőségét. A tekercskészlet ehhez 5 pólusú csatlakozót feltételez, mely együttes készítése a korábbiakhoz hasonlatos. A forgók váltását az adott tekercsen belüli DIN csatlakozók *1-4* és *3-5* pontjainak rövidre zárásával lehet megoldani. Természeten egy AM forgóhoz a 3 pólusú Tuchel is elegendő. Szintén szaggatott vonallal jelöltük a frekvenciamérőhöz történő jelkicsatolás módját is. Ez viszonylag kisszintű kimenetet ad. Érzéketlenebb frekvenciamérőhöz kössünk egy másik FET-et T-vel párhuzamosan, s annak 1,2 kohmos munkaellenállásáról már több voltos jel vehető le anélkül, hogy az – erre különösen érzékeny – oszcillátor a terheléstől leállna. A kapcsolásban T helyén dolgozó BF256-os FET-t kiváltható a 2N3819, vagy a BF245 típusokkal. A T forráselektródájához lehet a moduláló jelet csatlakoztatni. A tekercs maga ismét leágazásos, pontosabban középleágazásos, mely egy rutinos építőnek nem jelenthet problémát. Csupán tájékoztatási jelleggel mutatjuk meg a svéd konstruktőr, *Harry Lythall* idevágó értéktáblázatát (**2. táblázat**). Berendezésének mintapéldány szintű kipróbálásakor csévetest gyanánt a már bevált villanyszerelési védőcső, és egy 13,5 mm átmérőjű PVC cső is „bevetésre" került, melyekhez természetesen a táblázattól némileg eltérő menetszámok adódtak. Végül is elmondhatjuk, hogy a kapcsolás maga 80 kHz-től 400 MHz-ig megépíthető, mely értéktartományok kivitelezhetősége nagyban függ a rendelkezésre álló alkatelemektől (forgó –típus, tekercsátmérő stb.) Az alapegység áramfelvétele kb. 4 mA.

9. A GDO méréstechnikája

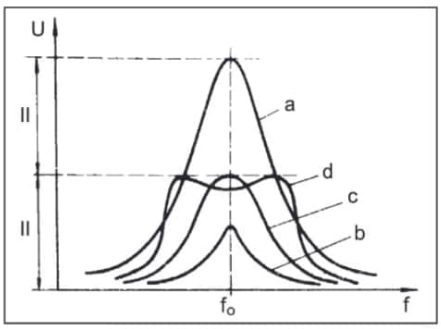
Ha valaki díjat adhatna a legsokoldalúbb és leghasznosabb „műszerért", mely elérhető a nagyfrekvenciát használó ama-

Frekvencia-sáv, MHz	Menetszám	Tekercsát-mérő, mm	Tekercs-hossz, mm	Huzalát-mérő, mm
1,7...4,5	80+80	15	45	0,25
2,9...7,4	40+40		23	
5...13	20+20		13	
8...22	10+10		8	
14...35	5+5		4	
23...72	2,5+2,5		2,5	
58...180	2		1,7	0,8

2. táblázat

tőrépítők számára azt kétségtelenül a GDO kapná. „Professzionális" értelemben ez a készülékfajta – melynek pontosságát több tényező is kedvezőtlenül befolyásolja – alkalmazását tekintve nem versenyezhet a többé-kevésbé bonyolult laboratóriumi mérések sorozatával. Azonban egyszerű felépítése, kézben hordozhatósága, a vele végezhető mérések sokoldalúságával nélkülözhetetlenné teszik mindazon mérések esetében ahol nem követelmény a nagy mérési pontosság és sebesség. A technikai fejezeteinket summázva itt csapódhat le az a felismerés is, hogy mindegyik dipméter konstrukciónak saját „lelke" van, azt elfogadva, ügyesen használva lehet eredményes munkát végezni vele. Bevezető gondolatunkban úgy fogalmaztunk, hogy a generációkon átívelő tapasztalatokat foglaltuk össze írásunkban, s ez érvényes itt a méréstechnikai fejezetünk esetében is. Ehhez felhasználtunk számtalan szakirodalmi, GDO kezelési leírást, méréstechnikai ajánlást.

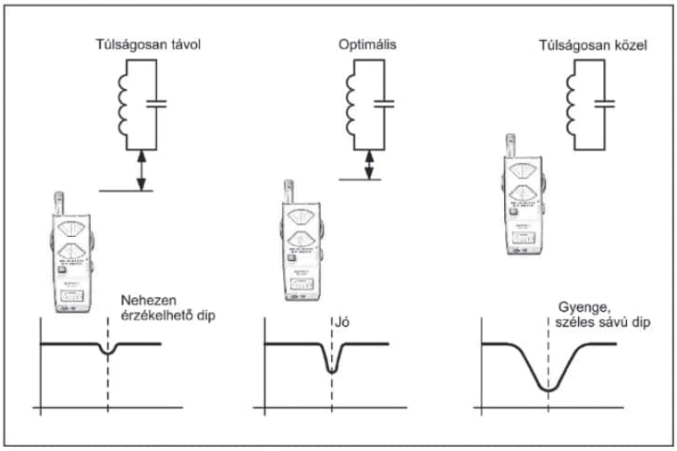
Tesszük ezt a teljesség szorosan vett igénye nélkül, valamint annak dacára (s erről is már szóltunk) hogy némely mérési eljárás, vagy lehetőség ma már „elvette a GDO kenyerét." Hiszen csak példának említve, bizony megmosolyogtató egy kondenzátor értékét dipméterrel (+ számítással) meghatározni, hiszen sok olcsó kézi digitális multiméter rendelkezik ma már kapacitásmérő lehetőséggel is. Mégis említeni fogjuk ezen kihalt, vagy kihalni látszó megoldásokat is, mert:
– adódhatnak technikai anomáliák a modern eszközöknél (is), s „vészhelyzetkor" jól jöhet egy bevethető alternatív „tudomány". (A nem is annyira sántító hasonlatként pl. a szerző kénytelen volt elővenni egy esetben a logarlécét valamely „igényesebb" matematikai művelet elvégzéséhez a számológépe meghalása miatt. A logarléc ismerete, használata szintén a kihalt alkalmazások körébe tartozik.)
– Gondoltunk a nagyszámú oldtimer rajongókra, restaurátorokra, akik autentikus módszerekkel, eszközökkel varázsolják újjá, vagy éppen építik a korhű technikát.



38. ábra

9.1. Az alaprendeltetés

A GDO működési elvéből adódóan alapvetően hangoltkörök rezonanciafrekvenciájának mérésére szolgál. (Ezáltal lehetséges az induktivitás és kapacitás értékének

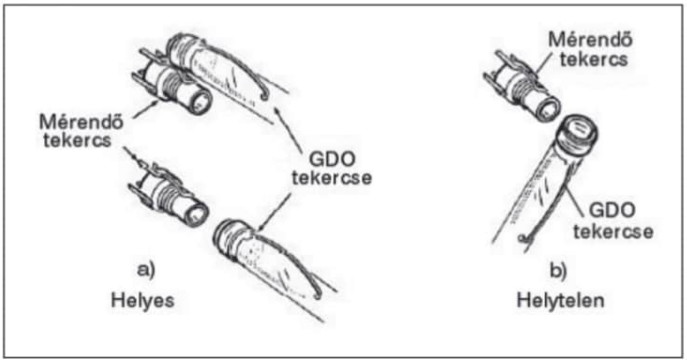


39. ábra

meghatározása is, lásd később.) Tekintve az elsődleges felhasználási körét, ezt az opciót részletesebben megvizsgáljuk. A rezonanciafrekvencia-mérés a GDO aktív üzemmódjában a sugárzó cseretekercs, és mérendő rezgőkör tekercsének csatolásba hozásával történik, általában a hozzá való közelítéssel. Elektrotechnikai értelemeben pedig két rezonáns kör csatolásáról van szó, amely (dipnél) azonos frekvenciára van hangolva. Ezt a megvalósítást induktív csatolású sávszűrőnek is nevezhetnénk. Ennek a kapcsolástechnikai elrendezésnek az átviteli görbéjének alakja függ a két kör közötti csatolás mértékétől és a rezgőkörök jósági tényezőjétől. (Az előzőek alapján a sávszűrő átviteli görbéjét és az abban alkalmazott rezgőkörök közötti csatolást rezonancián a k·Q szorzat értéke határozza meg. A *k* tényező 0…1 között változhat, s ez tulajdonképpen a csatolási tényező.) Az első kritérium tekintetében már itt megfontolásokat kell tennünk. Ha megvizsgáljuk a rezgőkörön fellépő feszültség alakulását a frekvencia függvényében (állandó árammal való táplálás esetében), akkor a csatolás mértékének változtatásával a **38. ábra** szerinti görbesereget kapjuk. Az oldalakat kitevő ábraelemzés mellőzésével itt csak az elnevezésekre szorítkozunk, mert fontos lesz a továbbiakban. Az *a* görbe egy rezgőkörön fellépő feszültséget mutatja áramgenerátoros táplálás esetén. A másik három görbe a sávszűrő szekunderén (azaz itt a GDO-nál) jelentkező feszültség változást mutatja, nevezetesen: *b* görbe a laza, *c* görbe a kritikus, *d* görbe a szoros csatolás esetén. Dip kiváltásakor pedig mindhárom módozatot generálhatjuk mérési technikánk függvényeként. Különösen a kritikus és a (túl)szoros csatolás jellegzetességét figyeljük meg, amikor is a klasszikus haranggörbe helyett az átvitelünk „kétpúpúvá" válik, azaz két dipet regisztrálhatunk ugyanarra az f_o-ra!

A **39. ábránk** már meg is világítja azt a félmondatunkat, hogy miért is függ minden a mérési technikánktól. Itt azt látjuk, hogy a csatolási távolság változtatásával válthatjuk ki a különböző csatolási mértékeket, s annak folyamodványaként a dip-érzékelésének pontosságát. Nem túl szerencsés se laza csatolást (túl nagy távolság), se szoros csatolást (közeli távolság) tartani, sőt végletes helyzetben tényleg kétpupuvá válhat a dip érzékelésünk. A pontos mérés érdekében először úgy kell a „dipet" megkeresni, hogy a két tekercset közel helyezzük egymáshoz, úgy, hogy ne legyenek egymásra merőlegesek, amint azt a **40.a ábra** mutatja.

A **40.b ábra** a hibás elrendezés, bár a merőleges „megközelítés" gyakorta fizikailag nem is lehetséges. Ezután a laza csatolás elérése érdekében távolítani kell a két tekercset addig, amíg a dip még jól érzékelhető. Egyszerűnek hangzik,



40. ábra

de az ördög mindig a részletekben rejlik, s mi „ördögűzők" vagyunk. És akkor lássuk!

9.2. A párhuzamos rezonáns kör rezonanciafrekvenciájának mérése

Nem hangsúlyoztuk ki idáig, hogy olyan áramköri részletet vizsgálunk, mikor is egy ismeretlen értékű tekercset párhuzamosan kapcsolunk egy ismeretlen értékű kondenzátorral. Ha ennek a rezgőköri elrendezésnek – amely nem kapcsolódik semmilyen jelforráshoz, és teljesen izolált a környezetében – az f_o értéke beleesik a GDO mérési tartományába, akkor ez a rezonancia detektálható a csatolás állandó értéken tartásával, s a műszer egyidejű hangolásával. A hangolás során lesz egy olyan pont, mikor a műszer mutatója hirtelen egy alacsonyabb (vagy – konstrukciótól függően- magasabb) értékre ugrik. Ezen a ponton pedig el kell néhány bizonyos elővigyázatossági megfontolás. Amennyiben pl. a dip észlelése (kimutatása) kb. egyforma mértékben tovább folytatódik akkor is, ha a mérendő objektumtól a mérési távolságot változtatjuk, akkor biztos, hogy a dipet nem a mérés tárgya váltotta ki, sokkal inkább egy erős rádiófrekvenciás sugárzás, melyet pl. egy helyi rádió- vagy televízióadó generált. Ebben az esetben úgy folytatjuk a mérésünket, hogy a műszerünk többi mérőtekercsével (a készletéhez tartozik) is próbálkozunk, míg majd adódik egy olyan „dipugrás", amely eltűnik a két objektum távolságának némi növelésével.

Mondhatnánk akkor, hogy rendben is vagyunk, de még nem vagyunk készen a méréssel! A mérési objektum és a műszer kölcsönös egymásra hatása kapcsán beszélhetünk a kölcsönös induktivitás fogalmáról (s ezt korábbi fejezetünknél mutattuk is), mely jellemző módosítja az effektív induktivitás értéket, ennélfogva az oszcillátor frekvenciáját is. Ez pedig (tovább) növeli a mérési hiba lehetőségét. A jelenséget korábban már a nemkívánatos *frekvenciaelhúzás* néven vezettük be, s most mérésünkkor „számolnunk" is kell vele. Ezért a továbbiakban szükséges a készüléket fokozatosan egyre távolabb vinni a vizsgált áramkörtől, s egyidejűleg utánállítani a GDO hangolási skáláját. A műveletet addig folytassuk, míg a műszer dip-je függetlenné nem válik a vizsgált áramkörtől történő további távolság növelésétől. A skála leolvasása ezen a ponton megadja a vizsgált áramkör pontos rezonancia értékét. Ez az üzemmód jól használható különféle rezgőkörök méretezésénél, a menetszámok pontos megállapításánál.

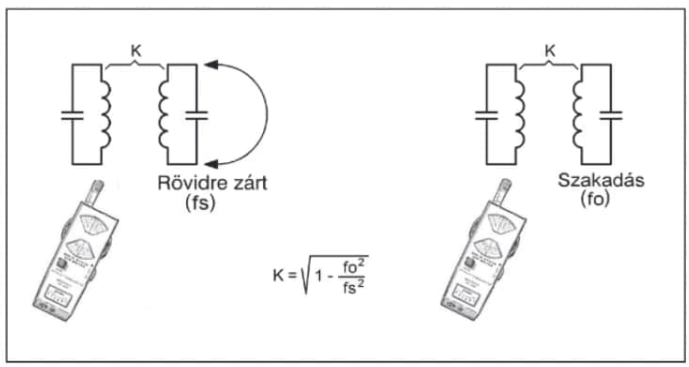
A fenti mérési eljárás során feltételeztük, hogy a vizsgált rezgőköri tekercs szabadon hozzáférhető és árnyékolatlan. Ez a két feltétel napjaink áramköreinél már a legritkábban teljesül, tekintve a nagyfokú alkatrészsűrűségre, amely pl. az árnyékolást is kötelezővé teszi. A korábbi GDO-készülékgyártók közül egyik másik korát megelőzően gondolt erre a lehetőségre is, s készülékét ellátta ún. kapacitív mérőfejjel is. (Ilyen pl. a KENWOOD DM-81 típusa.) Ennek segítségével pedig pontosan vizsgálhatók árnyékolt tekercsek is, lévén nem szükséges induktív csatolás azok és a GDO között. Mivel alkalmazása készülékspecifikus, és egyáltalán nem általános, így konkrét bemutatásának tárgyában javasoljuk az illető készülék használati útmutatójában leírtak tanulmányozását. Persze ha nincs ilyen berendezésünk, akkor is tehetünk valamit. Az árnyékolóserleget problémás eltávolítani, de nem is célszerű, mert „elhúzza" az induktivitást. Ha a rezgőkör kondenzátora a serlegen kívül van, akkor még így is elérhető valamekkora csatolás. Ha másképp nem megy, akkor egy vezetékhurkon és egy kisebb kapacitáson keresztül még mindig csatlakozhatunk a rezgőkörhöz. Árnyékolt tápvonalak rezonanciáját hasonlóképpen mérhetjük ki.

9.3. Induktív csatolású sávszűrők mérése

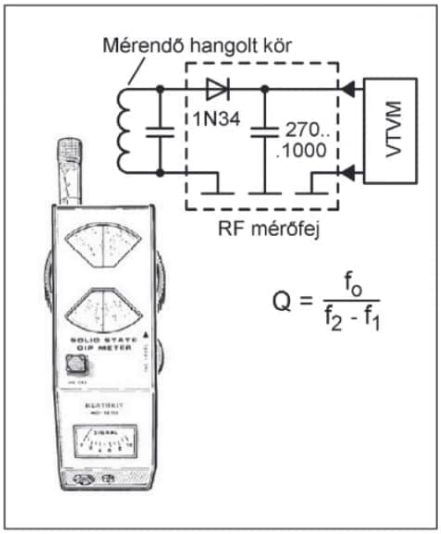
A 38. ábra bevezetése kapcsán már szót ejtettünk az induktív csatolású sávszűrők átvitelét determináló $k \cdot Q$ szorzat jelentőségéről, ahol a k a csatolási tényező, a Q pedig a rezgőkörök jósági tényezője, mely utóbbival külön szakaszban foglalkozunk. Mindkettő ismerete fontos lehet, ha egy kívánt csatolási mértéket akarunk beállítani. (Csupán példaként említjük meg, hogy szoros csatolás esetén, ha a $k \cdot Q$ szorzat eléri a 2,4 értéket, akkor a rezonanciafrekvencián fellépő feszültség a „púpok" feszültségértékének $1/\sqrt{2}$-ével egyenlő. Mivel ez egyben a szokásos sávszélességi határ is, ezért ennél nagyobb csatolást nem alkalmaznak.) Induktiv csatolású sávszűrők csatolási tényezőjének mérésekor a **41. ábra** szerint, először a már ismertetett módszerrel megállapítjuk az egyik rezgőkör f_o rezonanciafrekvenciáját, majd ugyan ezt a rezonanciát megmérjük úgy, hogy a másik rezgőkört (fs) rövidre zárjuk. A két értékből a csatolási tényező az *ábrán található képlettel* kiszámítható.

9.4. Hangoltkör jósági tényezőjének mérése

A rezgőkör-elmélet hatalmas témakör, messzire vezető következtetésekkel. Nem tisztünk most még csak belekóstolni sem ebbe a nagy falatba, csupán a méréstechnikánkhoz nélkülözhetetlen momentumokat érintjük. Egy hangoltkör ténylegesen egy induktivitás és egy kapacitás együtteséből épül fel, mely elemek lehetnek párhuzamos, illetve soros kapcsolásban. Rezonancia akkor áll elő, ha a kapacitív reaktancia megegyezik az induktív reaktanciával, s ez mindkét kapcsolási elrendezésnél előállhat. (Itt most engedtessék meg a szerző



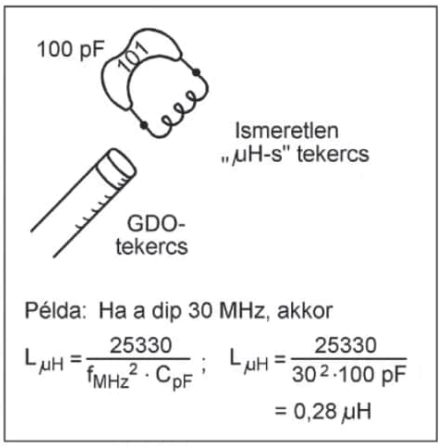
41. ábra



42. ábra

csipetnyi „kötözködése". Rezgőkört tehát a tekercs és kondenzátor alkot, ha biztosítjuk közötük az energiaáramlást. Ebből az aspektusból meg helytelen soros rezgőkörről beszélni, ha nincs feltünteve a vezérlő generátor. A sorba kötött tekercs és kondenzátor önmagában nem rezgőkör, hiszen energiaáramlás s így rezgés sem alakulhat ki.) Rezonancia csak egyetlen frekvencián jön létre, s akkor egy sor „érdekes jelenséget" tapasztalhatunk.

Az egyik ilyen, hogy ekkor az áramkör úgy viselkedik, mintha nem tartalmazna reaktív elemet, és párhuzamos hangolt kör esetén elméletileg végtelen nagy ellenállást mutat. Soros rezgőkör esetében ugyanez elméletileg zérus értéket ad. A valóság viszont az, hogy mindkét változatnál az elméleti értéket behatárolja a körben jelenlévő különféle (veszteségi) ellenállások eredő értéke, azaz párhuzamos rezgőkörnél nem végtelen, hanem relatíve nagy ellenállás, míg soros rezgőkörnél nem zérus, hanem kellően kis ellenállás mutatkozik. Hogy ez a „veszteség" mennyire dominánsan (s itt most eltekintenénk a matematikai levezetések oldalnyi terjedelmétől), azt nevezzük a kör *jósági tényezőjének*, s jelöljük *Q*-val. Minél nagyobb egy hangolt kör *Q*-ja, annál jobban közelíti (itt az impedancia szempontjából) az elméleti értéket. A jelenséget hatásában láttathatjuk, ha egy táplált rezgőkör „válaszát" ábrázoljuk úgy, hogy a koordinátarendszerben az abszcissza értékekei a frekvencia, míg az ordináta-adatok a feszültség lesznek. Egy ilyen görbe a rezonáns frekvenciának megfelelő maximumot, vagy minimumot mutat attól függően, hogy párhuzamos, vagy soros körről beszélünk, s ha eltekintünk a mostani fogalmi rendszerünktől, akkor a jól ismert sávszűrők haranggörbéjét kell lássuk. Ebben a fogalmi körben pedig definiciószerűen a jósági tényező: $Q = f_o/\Delta f$, ahol f_o a rezonanciafrekvencia, Δf a görbe 3 dB-es pontjai között értelmezett sávszélessége. A GDO-val végzendő mérésünk pedig ezen definíció alapján történik az alábbiak szerint, a párhuzamos rezgőkör vizsgálata kapcsán.

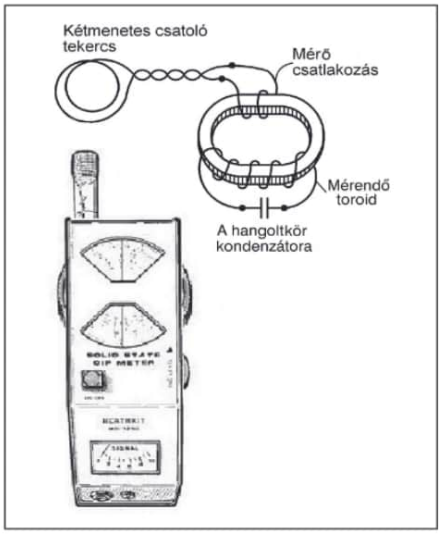


43. ábra

A GDO-t aktív üzemmódban használva hozzuk laza csatolásba vizsgálandó körrel. Ez utóbbihoz RF-mérőfejen keresztül csatlakoztassunk nagy belsőellenállású voltmérőt (**42 ábra**)! Fontos, hogy a továbbiakban a csatolás ne változzon.

A mérés lépései:

1. A dipnél olvassuk le a GDO f_o frekvenciáját. (A voltmérő ekkor maximumot mutat.)
2. Óvatosan csökkentsük a GDO frekvenciáját addig. voltmérő az előző érték 0,707 szeresét (-3 dB) mutatja. Ezt az f_1 értéket jegyezzük fel.
3. Óvatosan növeljük a frekvenciát addig. amíg a maximum elérése után ismét az előző pontban mért értéket kapjuk! Ezt az értéket (f_2) szintén jegyezzük fel.



44. ábra

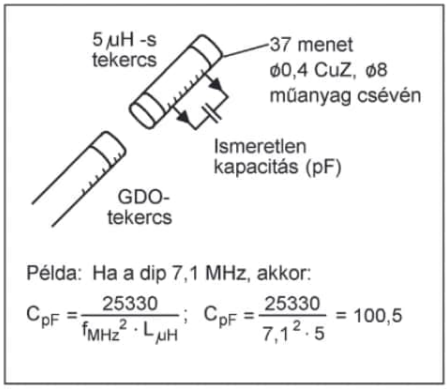
A jósági tényező a lenti értékekből az *ábrán közölt képlettel* határozhatjuk meg. Némi gyakorlattal a dip „élességéből" a hangoltkör jóságára nagyon durván bár, de tudunk következtetni. Igen éles leszivást tapasztalva kimondhatjuk, hogy az áramkör viszonylag nagy *Q*-val rendelkezik, míg széles, csekély dip relatív alacsony *Q*-t jelent, bár ez a „saccolás" a $k \cdot Q$ szorzat számításához, ugye, nem használható. Vannak esetek, mikor egy hangoltkör jóságát mesterségesen tartják alacsony értéken (pl. egyes műsorvevők erősítőinek esetében), s ilyenkor szinte lehetetlen dipmérővel rezonanciát indikálni. Ajánlatos ilyenkor a hangoltkör odahelyezett csillapító ellenállását ideiglenesen kiforrasztani, s méréseket úgy elvégezni.

9.5. Indukivitásmérés

A reaktáns elemek GDO-val való mérését visszavezetjük annak alaprendeltetéséhez. Gyakori probléma pl. kisebb menetszámú tekercsek induktivitásának meghatározása. E célból egy ismert értékű kondenzátorral egészítjük ki rezgőkörré, és a rezonanciafrekvencia meghatározását követően a **43. ábrán** található, a könnyebb számítás kedvéért átrendezett és egyszerűsített Thomson-képlettel kiszámítható az induktivitásérték. Toroid- vagy fazékvasmag esetén, ahol a kicsi a szórt induktivitás („önárnyékoló" tulajdonságú), a mérő rezgőkört még ki kell egészíteni egy csatoló hurokkal („link csatolás"), ami az induktivitást csak kis mértékben növeli, de alkalmas a GDO-val való együttműködésre (**44. ábra**). A toroid mérése kapcsán szintén előnyösen használható az a GDO, melynek kapacitív mérőfeje is van, s melyre már utaltunk is az előzőekben.

9.6. Kapacitásmérés

Ismeretlen kapacitás, például forgókondenzátor kapacitásának mérése és kiszámítása az **45. ábrán** látható módon és *képlettel* történik, de itt egy ismert értékű induktivitásra van szükség. A rajzon ennek kialakítására is látunk egy recep-



45. ábra

tet. A legegyszerűbb eset persze az, mikor tudjuk a GDO-nk tekercskészletében levő tagok induktivitását, s azok közül választva építjük fel a mérendő kört benne az ismeretlen értékű kondenzátorral. Mindkét mérési eljárásra közös megjegyzésünk, hogy a nagyfrekvenciás rezgőkörbe szánt induktivitás és kapacitás a fenti módszerekkel történő mérése jobb megoldás lehet, mint pl. a multiméterrel való mérés, mert a használatukhoz hasonlatos körülmények között mérjük az alkatelemeket. Rezgőköri elemeket arány mérésével is meghatározhatunk úgy, hogy egy ismert nagyságú kondenzátorral megmérjük a rezonanciaferekvenciát, majd az ismeretlennel is. Már használtuk korábban, s itt most átrendezve mondhatjuk azt az összefüggést, miszerint a frekvenciarány négyzetével fordítottan arányos a kapacitások aránya, az alábbi képlet szerint:

$$C_2 = C_1(f_1/f_2)^2; \quad L_2 = L_1(f_1/f_2)^2$$

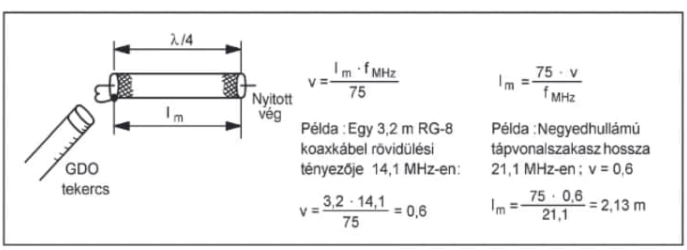
Ugyanez vonatkozik az induktivitásokra is. A konstrukciós részeknél már szóba került, s itt most „tetten is érjük", hogy pl. a GDO-val egy rövidrezárt kimenetű kondenzátor rezonanciája is kimérhető. Rádióamatőr szempontból igen tanulságos pl. egy 100 nF-os hidegítő kondenzátor rezonanciáját meghatározni a kivezetésének hossza és a körbezárt felület függvényében.

9.7. Tápvonalmérések

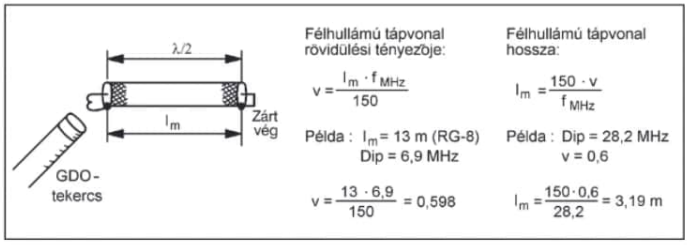
Baluntranszformátorok és egyéb illesztőáramkörök kialakítása során szükség lehet negyed-, ill. félhullámú tápvonalszakaszok hosszának pontos meghatározására. Ehhez ismerni kell az adott kábel rövidülési tényezőjét. GDO-val ez úgy határozható meg, hogy egy körülbelül egy méteres kábeldarab egyik véget szabadon hagyjuk, míg a másik végére egymenetes csatolóhurkot készítünk, majd itt megmérjük a rezonanciafrekvenciát (**46. ábra**). Ebből, és a kábelhosszból a *v* rövidülési tényező kiszámítható.

Ezzel a negyedhullámú tápvonalszakasz elkészítéséhez szükséges kábel hossza (*lm*) az ábra szerinti képlettel számolható ki.

Félhullámú illesztő készítésénél a módszer hasonló, de itt



46. ábra



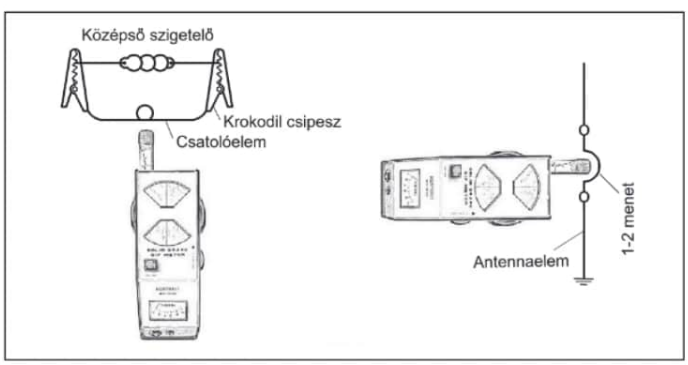
47. ábra

az egyik kábelvéget rövidre zárva, a másikon levő csatoló huroknál mérjük a rezonanciát. A rövidülési tényező, valamint a szükséges kábelhossz az előzőekhez hasonlóan. a **47. ábrán** közölt képletekkel számítható.

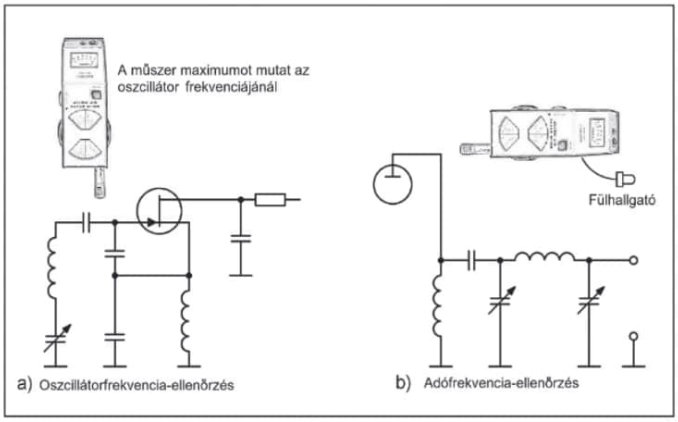
9.8. Antennamérések

Ismeretes, hogy bármelyik antenna egyfajta rezonáns körnek tekinthető. A rezgőrökhöz hasonlatosan a tápvonal és antennaelmélet kötetnyi anyagát még tartalomjegyzék szinten sem érinthetjük, az ebben dolgozók bizonyára jól ismerik. Tehát ha rezonáns kör, akkor a GDO-val is vizsgálódhatunk antennánk körül, s ehhez adunk most néhány praktikus tanácsot. A mérendő antennát a működési helyéhez a lehető legközelebb kell elhelyezni, a működése közben megkívánt körülmények között. A GDO-t antennák mérésekor is aktív üzemmódban kell használni. Az antenna jósági tényezője viszonylag kicsi, ezért szorosabb csatolásra van szükség. A gerjesztést az antenna kisimpedanciájú pontján, ott ahol a legnagyobb áram folyik, kell megvalósítani. Ez a pont félhullámú antenna esetén a sugárzó középpontja. Az antennaelem alacsony jósági tényezője miatt szükséges lehet egy huzalból készített egykét menetes csatolóhurokra, mely csatolóhurokkal egyidejűleg az antenna táplálási pontjait rövidre kell zárni, (Ez az eljárás a nyitott közepű, illetve a hajlított dipol antennáknál alkalmatos.) A dip általában nem túl éles, és általában kissé széles, így nem mindig könnyű megtalálni. Az eljárást az **48. ábrán** mutatjuk. Persze a mérés végeztével ne felejtsük el a rövidzárat megszüntetni! Szintén ezen az ábrán láthatjuk, hogy mi a teendőnk vertikális (vagy hasonló) antennák esetében, mikor is az egyik betáplálási pont földelt. Ekkor egy egymenetes „tekercset" helyezzünk az antenna és a föld közé. A mérési eljárás pedig hasonlatos a rezgőköröknél elmondottakhoz. Szoros csatolással indítunk, majd lassan távolítva a műszerünket lehetségessé válik a relatíve pontos rezonancia meghatározása. Ez utóbbihoz azért lenne néhány kiegészítő gondolatunk.

Ha nem hozzáférhető az antenna kisimpedanciás pontja, akkor ellenőrizhetünk a nagyimpedanciás, vagy „nagyfe-



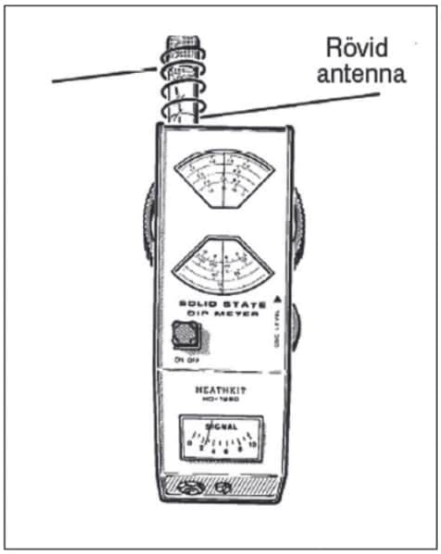
48. ábra



49. ábra

szültségű" ponton is. Ekkor kapacitív csatolást alkalmazzunk, amit úgy valósítunk meg, hogy derékszögű legyen a műszer elhelyezése a sugárzó elemhez képest. (Ezt a rezgőkörnél még helytelen kialakításnak neveztük, itt hasznos lesz.) Azonban jegyezzük meg, hogyha a nagyimpedanciás pont az antenna bármelyik vége közelében van, a dipmérő jelenléte miatt a „végeredmény" megváltozik, az antenna rezonanciafrekvenciája kissé növekszik. Ezt figyelembe kell vennünk az antenna végénél történő méréskor: a leolvasott érték valamivel alacsonyabb lesz, mint az antenna valódi rezonanciája. A hibaszázalék úgy 1…3% ra tehető. *Bármely esetet is alkalmazzuk, a fizikai hosszúságot, vegyük figyelembe, szemben a képlettel számított elektromos hosszal!*

További bizonytalansági tényező, hogy a mérések elvégzéséhez el kell távolítani az antennához csatlakozó tápvezetékeket, amelyek az antenna illesztését, lezárását, stb. biztosították. Ennélfogva valódi rezonancia nem mutatható ki, mert a helytelenül illesztett, vagy lezárt tápvezeték pozitív, vagy negatív reaktanciát eredményez, mely jellemzők megváltoztatják az antenna elektromos hosszát. Akár zárójeles megjegyzésünk is lehetne, amikor megállapítjuk, hogy egy vezetékdarabnak (mint antennának) rezonanciafrekvenciája is meghatározható, ha csatolásként a közepéhez nyomjuk a GDO tekercsét. Tapasztalatok szerint egy vékony vezeték ílymódon nemigen mérhető, de egy nagyobb felületű már igen, egy szalagkábel pedig már erősen rezonál.



50. ábra

9.9. Kvarcok, hullámcsapdák, szűrők ellenőrzése

Kvarcok gyors mérése úgy lehetséges, hogy egy két-három menetes tekercset kapcsolunk vele párhuzamosan, majd ezt csatolásba hozva a dip-mérő tekercsével, mérjük a rezonanciafrekvenciát. Mivel a kvarc Q-ja igen nagy, a dip nagyon éles, de kívánt leolvasási pontosság még a beépített frekvenciamérő alkalmazásával sem biztosítható. A mérésünk ebben az esetben tényleg csak tájékoztató jellegű.

A hullámcsapdák, s egyéb passzív szűrők vizsgálata a párhuzamos rezgőkörök mérési metódusára vezethető vissza. A soros kapcsolású elrendezéseknél (pl. szívókörök) – visszautalva a szerző korábbi „kötözködésére" – először az induktív és a kapacitív tagokat alakítsuk át párhuzamos kapcsolásúvá, s a már ismert módon mérjük a rezonanciát. Mérés után pedig alakítsuk vissza az eredeti soros kapcsolást.

9.10. A GDO aktív üzemének további lehetőségei

Külön elmélyült ismertetést igényelne a vevő- és adókészülékek behangolási, beállítási, ellenőrzési GDO-s technikájának idecitálása. Mivel ez a témakör pediglen készülékspecifikus, így csak néhány általános irányelvet említhetünk. A műszerünk aktív üzemét használva a vevőkészüléken „hidegen" (tápra kapcsolás nélkül) dolgozhatunk. Ekkor előzetesen beállítható a helyi oszcillátor, a frekvenciakétszerező hozzávetőleges frekvenciája, az előfokozat sávközépi frekvenciája. Amennyiben a GDO-nk mérési tartományába belefér, akkor talán a legfontosabb teendőnk a KF fokozat(ok) „hidegen" hangolása. (Azok árnyékolt kivitele megnehezítheti ebbéli törekvésünket, amire megoldást kínál pl. a kapacitív mérőfejjel rendelkező GDO-típus). Adókészülék esetében bekapcsoljuk a berendezést, de az adóvégfok ne kapjon (pl. anód) tápfeszültséget. Ekkor a végfokozathoz tartozó összes hangoltkör előhangolható a saját frekvenciájára. (Megjegyezzük, hogy mindezen jellemzők aztán tételesen újra ellenőrizhetők a dipmérőnk passzív üzemmódjában, amikor már adó-vevőnket üzemük közben vizsgálhatjuk.)

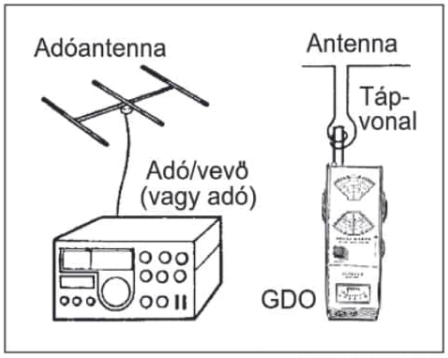
9.11. A GDO passzív üzemmódja (hangolt detektor)

A legtöbb dipper hangolt detektorként is használható oly módon, hogy oszcillátorát vagy teljesen kikapcsoljuk, vagy működését úgy állítjuk be, hogy az oszcilláció éppen leálljon [11]. Az első esetben a GDO egy diódás detektor. míg második esetben egy regeneratív detektor.

Passzív üzemmódban a műszer elsősorban mint abszorciós frekvenciamérő működik. Ekkor a műszerünk külső energiát használ működéséhez, amit az aktív állapotú vizsgált berendezés „szolgáltat", s erre utaltunk előző fejezetünk utolsó mondatával. Jól bevált a kismértékű GDO-oszcilláció fenntartása, amit pl. a [11] konstrukciója használ. Ezzel a frekvenciaegyezés esetén nagyon jól érzékelhető növekedés áll be az amplitúdóban, s kisebb csatolás is elegendő a valódi passzív rezonanciaméréshez képest. Ezzel a módszerrel a vadrezgések, gerjedések is jól kimutathatók. De hogy ne csak rébuszokban beszéljünk, a **49. ábrán** mutattunk két lehetőséget is. A **49.a** részlet egy működő oszcillátor frekvenciaellenőrzését mutatja, míg a **49.b** részlet egy adófokozat kimenőkörének sugárzó energiájának segítségével mérhetjük az adófrekvenciát.

9.12. Térerőindikátor

Ehhez az opcióhoz az érzékenység fokozása érdekében szokás egy pár menetes tekercccsel csatolt rövid antennát készíteni **(50. ábra)** A készüléket az adó frekvenciájára hangolva, a mérőantennával kiegészített műszert az adó-



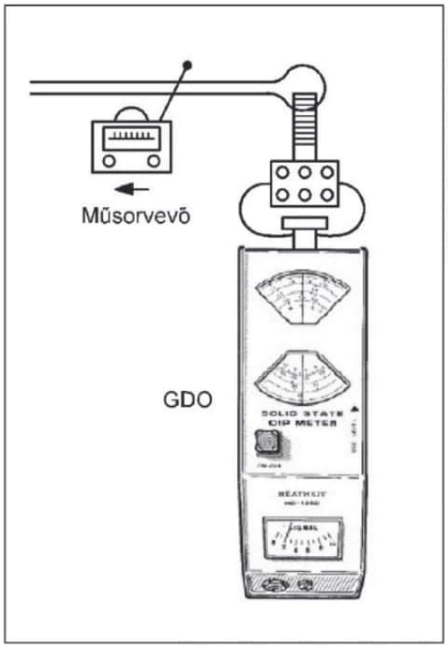
51. ábra

antenna különböző pontjaihoz közelítve az abban folyó áram eloszlása – ezzel a relatív térerő is – nyomon követhető. Ez az opció alkalmas adóantennák illesztésének, sugárzási karakterisztikájának beállítására, melynek láttatását az **51. ábrára** bízzuk. Óvjuk műszerünket a túlságosan nagy térerőtől! A rezonancia esetén még akkor is tönkreteheti GDO-nkat, ha annak elektronikája ki van kapcsolva!

Elektroncsöves és félvezetős erősítők kellemetlen problémája a parazita oszcilláció, ami neutralizálást igényel. Ennek kimutatására is kiváló indikátor a dipmérő. A neutralizálás főleg elektroncsöves adófokozatok helyes beállításához szükséges vizsgálati eljárása után válhat szükségessé, amit az ebben a technológiában jártasak biztosan jól ismernek.

A mai kor amatőre pedig számtalan esetben szeretne meggyőződni olyan készülékek működőképességéről, amelyek integrált antennával rendelkeznek (pl. rádióvezérelt járműmodellek garázsajtó-nyitók stb.). Térerőmérőként a GDO ezen berendezések frekvenciáját, relatív térerejét is képes meghatározni. Ha a műszerünk rendelkezik hangkimenettel, akkor a modulációs tartalom is ellenőrizhető.

9.13. Egyéb alkalmazások



52. ábra

A számtalan „fantáziadús" felhasználás közül az alábbiakban egyetlen lehetőséget említünk. A GDO egy műsorvevővel kiegészítve alkalmas rejtett vezetékek, vagy fémcsövek ‚nyomkövetésére". Ez esetben a dipper modulált RF-áramot indukál a fémben, amelyet a műsorvevő (zsebrádió) monitoroz. A betáplálás a vezeték egyik hozzáférési pontján történik. Ez esetben azonban olyan gyenge jelet használjunk, amelyik még adekvát választ ad egyrészt a minél pontosabb helymeghatározás érdekében, másrészt elkerülendő mérőszemély közelségéből adódó interferencia jelenséget a műsorvevőben. Amikor ilyen kis jelekkel dolgozunk, a legjobb egy szemmel látható „nyomvonalon" kísérleteket végezni, kitapasztalandó műsorvevőnk AGC-fokozatának viselkedését, mert könnyen hamis eredményre juthatunk (**52. ábra**). További alkalmazások is elérhetők a műszerünkkel, ha azok hardveres felépítése komplexebb az alapmegoldásnál. Így pl. használhatjuk olcsó szignálgenenerátorként, heterodin frekvenciamérőként, stb.

Az eddig elmondottakból talán kiviláglik, hogy csak önkényesen tehetünk pontot a méréstechnikákat bemutató fejezetünk végére, biztosan tudna még az olvasó hozzátenni saját tapasztalataiból. Talán az is bizonyítást nyert, hogy lehet (sőt biztos), hogy pontos mérés csak korlátozottan végezhető GDO-val, de hogy minden más amatőr berendezésnél sokrétűbben használható, az biztos!

Irodalom:

1. Grid Dip Meter; RCA transistor, Thyristor, and Diode Manual SC-15 1971 section, 15-22 o.
2. P. A. Lovelock: Solid State Conversion of the GDO; HAM Radio 1970/jun., 20. o.
3. P. A. Lovelock: Solid State Conversion of the GDO; HAM Radio 1970/jun., 22. o.
4. C. G. Miller: Gate Dip Meter That Really Dips; HAM Radio 1977/jun., 42. o.
5. L.G. McCoy: A Field Effect Transistor Dipper; QST 1968/ február, 24. o.
6. Frans Bruin: A Dual Gain MOSFET Dip Meter; QST 1977/ január, 16. o.
7. Fred Brown: A Band-Switching Grid-Dip Meter; CQ 1966/ február, 60. o.
8. Fred Brown: A 1980 Dipper; QST 1980/március,11. o.
9. Hetényi László: Kombinált grid-dip méter; Rádiótechnika Évkönyve 1969, 115-117. o.
10. The whole of dip meter, Seiro Tamaki, HAM Journal No.79, 1992; CQ Publishing Ltd.
11. Chrenko F. Nagymáté Cs. Akusztikus kijelzésű GDO; Rádiótechnika Évkönyve 2007
12. Pálinkás L. Szabó Z. GDO-digitális frekvencia-kijelzéssel; Rádiótechnika 2003/11
13. Mednyánszky L. GDO 200…500 MHz frekvenciatartományra; Rádiótechnika 1992/12.
14. Nagymáté Cs. Nagy S. Újgenerációs GDO és használata; Rádiótechnika Évkönyve 2008
15. Solid-state Dip Meter (model HD-1250) Heathkit Manual
16. Drew Diamond: A „Kalitron" Gate Dip Oscillator/Crystal checker; Amateur Radio 2003/3.
17. Tony Bailey: Fet Dip Oscillator MK2; Radio Communication 1981. november
18. Alan Bloom: A modern GDO- The „Gate" Dip Oscillator, QST 2003/május
19. https://www.qrpproject.de/UK/DipItUk.html
20. Lloyd Butler: A Dip Meter using the lambda negative resistance circuit; Amateur Radio 1977. január
21. Gate-dipper; Elektor 1979. október
22. Luis Sánchez Pérez: Dipmeter; Radioaficionados 2006/4.
23. Rövidhullámú GDO; Rádiótechnika 2012/9.

maus ELECTRONICS

// Több, mint 4 000 000 termék több, mint 500 gyártótól online elérhető

// Heti két szállítás az USA-ból, Mouser raktárról listaáron, 3 nap alatt extra költség nélkül

// Számlázás forintban vagy euróban

// 50 euró felett ingyenes belföldi kiszállítás

Maus Electronics Kft.
Tel.: +36 1 244 8412, +36 1 244 8413
Mobil: +36 20 777 1080

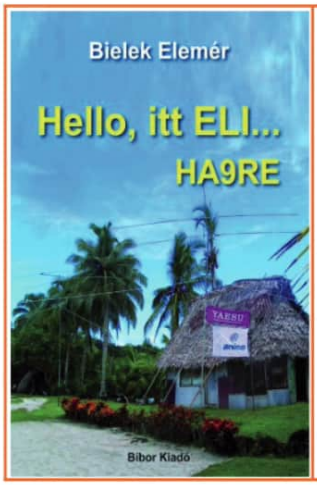
A Mouser hivatalos magyarországi partnere

MOUSER ELECTRONICS

A Mouser Electronics partnere segítségével könnyebbé válik beszerzési folyamata!

Kérjen ajánlatot most!

hungary@mausel.eu



BIELEK ELEMÉR:

Hello, itt ELI… HA9RE

Miskolcról a polinéz szigetvilágba – nemcsak a rádióhullámok útján

A szerzőt ifjú kora óta a rádióamatőr DXpedíciók világa izgatta, az, hogy álmát valóra váltsa. Sikerült, és közben „mellesleg" egy polinéziai gyöngyfarm európai képviselőjévé is vált. Sok szigetről szólt a rádiója, és a világ amatőr rádiósai Eli spéci hívójelét keresték a sávokban... A könyv szöveg- és gazdag képanyagából ránk köszönt a dél-tengerek mesés világa, annak valósága.

336 oldal, B5 formátum. **Ára: 3190 Ft** (+postaköltség).
A könyv postai utánvéttel is megrendelhető a HAM-bazártól: hambazar@radiovilag.hu
Budapest XIII., Dagály u. 11., I. emelet, H-P. 09-14 ó., Cs. 09-17 ó. 1550 Bp., Pf. 123
(+36 1) 239-4932/36 m. (+36 1) 239-4933/36 m. www.radiotechnika.hu www.radiovilag.hu 1

HAM-bazár

Készülékek – Modulok – Kitek

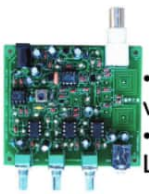
5

DSO150 oszcilloszkóp kit - 15.990 Ft
- **Szkóp kezdőknek, mérőfejjel**
- 200 kHz-es analóg sávszélesség
- Y-érzékenység: 5 mV/div…20 V/div
- Be.imp.: 1 MΩ/20 pF • Felbont.: 12 bit
- Időalap: 500 s/div…10 us/div
- Táplálás: 8...10 V (9 V / 120 mA)

Okos rádiós magnó (RRT 11B) – 12.990 Ft
- **Digitalizálva mentse régi magnókazettáit MP3-ban pendrájvra vagy SD memóriára!**
- KH-FM-RH rádió • kazettás magnó
- MP3 / WMA lejátszás USB-ről / SD-ről
- Fejhallgató csatlakozó • 230 V / 4 db D-elem
- Méret / súly: 280 x 170 x 100 mm / 1,5 kg

Frekv.- és telj.mérő (Gy561) – 16.990 Ft
- **Frekvencia- és RF teljesítménymérés**
- 1MHz…2,4 GHz, ill. 0,1 W…max. 50 W
- Beép. 50 Ω lez., rövid ideig terhelhető!
- Botantenna és sma dugós bemenet
- Tartozékok: botantenna, klf. kábelek
- Táp.: 3 db AAA • Méret: 95 x 55 x 25 mm

Digitális frekvenciamérő (Gy560) – 9.990 Ft
- **Frekvencia- és térerőmérés**
- Csak teleszkópantennás bemenet
- Mérési tartomány: 50 MHz ... 2,4 GHz
- 7digites kijelzés • Beállítható felbontás: 1kHz vagy 0,1 kHz • Táplálás: 9 V (6F22)
- Méret: 95 x 55 x 21 mm



Repülő sávos vevő kit 8.990 Ft
- 118...136 MHz-es AM-vevő
- NE602, MC1350, LM358, LM358, LM386

0...30 V stab. táp kit – 3.990 Ft

- Ube = 24 V AC
- Uki = 0...30 V
- Iki = 0...3 A

Frekvenciamérő modul (PLJ-8LED) – 8.990 Ft

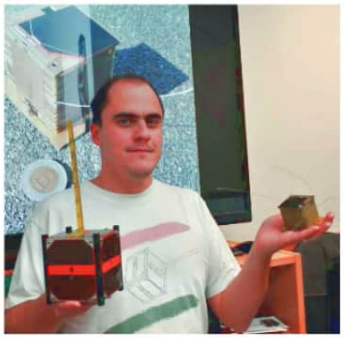
- 2 bem.: 0,1...60, 60...2 400 MHz
- Érz.: 60...100 mV, • Táplálás: 9 V / 160 mA
- 14 mm kar.mag. • Méret: 125 x 25 x 21 mm

Korlátozott készletek, egyes tételek kifogyhatnak! – Utazás előtt, kérjük, érdeklődjön!

HAM-bazár 1138 B.pest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H - P. 09 - 14 ó., Csüt. 09 - 17 ó.
239-4932/36 m., 239-4933/36 m. 1550 Bp., Pf. 123 www.radiovilag.hu hambazar@radiovilag.hu

Cq de HA... Cq de HG... 2021

Lendvai Klára HA5BA, ha5ba@kispest.hu

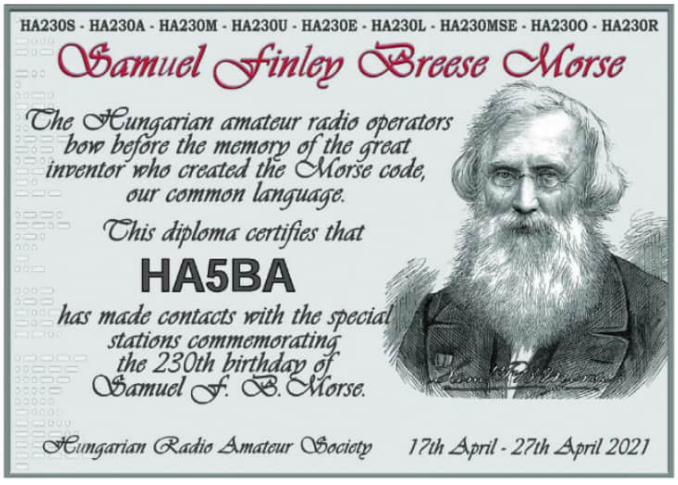


2021. március 22-én helyi idő szerint 7:07:12-kor felbocsátották, majd március 24-én sikeresen pályára állította a Budapesti Műszaki Egyetem csapata HA5WH és HA7WEN (fotónkon) rádióamatőrök vezényletével a SMOG-1 kisműholdat. A Bajkonur-i központból induló Fregat végfokozattal szerelt orosz Szojuz-2.1 hordozórakéta elsődleges hasznos terhe a dél-koreai CAS-500-1 műhold, melyen kívül még 37 űreszközt állított Föld körüli pályára. A SMOG-1-et a 32 kg-os olasz Unisat-7 műhold indította útjára március 24-én a kora délutáni órákban egy automatizált kidobó szerkezet segítségével, öt másik kisműhold társaságában, 550 km magasságban. Az immáron negyedik magyar műhold első jeleit március 25-én éjjel a 0:46 és 0:56 közötti Magyarország feletti áthaladás során több magyar rádióamatőr is vette. A SMOG-1 zsebműhold hívójele HA5BME. Az 5×5×5 cm méretű SMOG-1, az új magyar műhold, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem oktatóinak irányításával, egyetemi hallgatók aktív részvételével, oktatási feladatok keretében, szponzorok támogatásával készült. A letöltött telemetriaadatok alapján a fedélzeti szenzorok 10 és 35 C fok közötti hőmérsékletet mérnek. Kívánjuk, hogy ez a parányi szerkezet jó szerencsével sokáig éljen, sikeres küldetést SMOG-1!

Budapestre figyelt a katolikus világ, szeptember 5. és 12. között, hazánk adott otthont az 52. Nemzetközi Eucharisztikus Kongresszusnak (NEK). A világrendezvény eredeti időpontját felülírta a pandémia. Dr. Erdő Péter bíboros, prímás, Esztergom-budapesti érsek úgy nyilatkozott, hogy a magyar katolikus egyház számára óriási jelentőséggel bír a kongresszus budapesti megrendezése, „bemutatkozás a világ előtt és nemcsak a világegyház, hanem a civil világ előtt is". Budapest vendégül láthatta az egyházfőt, Ferenc pápát, ami szintén rendkívüli eseménynek számított. E jeles világeseményről a Budapesti Rádióamatőr Szövetség a HG52IEC hívójelű alkalmi állomás működtetésével kívánt méltóképpen megemlékezni. A QSO-k zöme CW üzemmódban készült, de SSB, ill. digitális üzemmódokban is elérhető volt az állomás. Sikerült a HG52IEC csapatba egy római katolikus rádióamatőr plébánost, HA8RJ Attila atyát is bevonni. A különleges állomás működtetéséhez szükséges informatikai hátteret HA5NG Bandi és HA5LC Peti BRASZ főtitkár alakították ki. Az aktivitás alatt a csapat tagjai dátumot, frekvenciát és időpontot foglalhattak. Sikerült a keresztény világ legnagyobb találkozójáról egy kis betekintést nyújtani, az európai országok mellett sok DX állomás is vadászott állomásunkra. A www.qrz.com oldalra feltöltöttem a speciális állomásra vonatkozó információkat, valamint a kongresszus himnuszát. A NEK főtitkára, dr. Fábry Kornél atya szívélyesen fogadott minket HA5LC főtitkár úrral, ahol tájékoztattuk rádiós terveinkről. E sorok írója elkészítette az ún. „NEK süteményt" az atya nagy örömére. Köszönet Mindenkinek, aki valamilyen formában segítette a HG52IEC állomás működését!

Hiába, a makacs Covid-19 túlságosan jól érzi magát közegeinkben, immáron második éve átalakítva életünk valamennyi szegmensét, nem kímélve rádióamatőr tevékenységünk gyorstávírász szakágát sem. A járványügyi korlátozások nem tették lehetővé a 2021. évi Puskás Tivadar Rádiótávírász Budapest-bajnokság megtartását. Ekkor jött az ötlet kiváló Elnök Urunktól – természetesen a BRASZ elnökére, HA5KU, Ferire gondolok –, rendezzünk a HST verseny szokásos időpontjában egy pörgős, „hiánypótló" aktivitást! Biztosítsunk ezáltal lehetőséget a versenyzők, bírók és a többi éterversenyző találkozásához, a verseny időpontjában. Valamennyi CW-fan részvételét vártuk, határon túlról is. A verseny február első szombatján, 6-án került megrendezésre, 80 és 40 méteren, kétszer 23 perc időkeretben, melyben a 23 budapesti kerületre utaltunk. Az RST után az első adóengedély kézhezvétele évszámának utolsó két karakterét kellett leadni. Ebben az időpontban több verseny is zajlott, de ez különösebben nem befolyásolta a morzejelekre „kiéhezett" amatőrtár-

sak aktivitását. Közel 50 állomás vett részt aktivitásunkon. A kiírás kuriózumaként szerepelt 1 db BF-F8+ típusú V/UHF FM kézi adó-vevő kisorsolása a logot beküldő amatőrtársak között. A „No Covid" díjat a Nagyrécsei Rádióklub HA1NR állomása nyerte, a díjat HA3GO Lali vette át a BURABU-n. SOAP BOX szösszenetek: HA5LN, Tibi: „Jó kis izzítás volt! Legyen jövőre is! Legyünk többen!". HA8AT, Imre: „7 MHz-en a külföldi állomások nehezítették a magyar állomások vételét". HA2OS, Ervin: „Kedves Klári, köszönöm a szervezést, 7 MHz nem volt használható nálam." HA7PO, Gabi: „Köszi a jó kis versenyt! Covidmentes napokat!". HA1ZN, Zsolt: „Köszi a verseny szervezését. A verseny győztese HA5MA Laci (fotónkon), második helyezettje HG6Y Zoli, harmadik lett a HG7T állomás Tibi operátora. Azért 2022 februárjában már egy igazi, „hús-vér" HST Budapest Bajnokságot szeretnénk rendezni, a régi alma materben.



Samuel Finley Breese Morse amerikai polihisztor, ígéretes festőművész, technikus, az elektromágneses távíró feltalálója 230 éve, 1791. április 27-én született a Boston környéki Charlestownban. A Yale College-ban tanult, majd elsősorban portréfestéssel foglalkozott, többször járt Európában is tanulmányúton. 1832-ben egy európai utazásáról hazafelé tartva megismerkedett Charles Thomas Jackson bostoni természettudóssal, akivel sokat beszélgetett az elektromágnesességről. Ennek nyomán Morse egy elektromos telegráf gondolatával kezdett foglalkozni. A telegráf készülék bemutatására 1837. szeptember 4-én került sor, a mintegy 500 méterrel távolabb lévő munkatársa adta a jeleket, az előadóteremben álló készülék ingája ennek megfelelően tüskéket rajzolt a papírszalagra. Morse leolvasta a számokat, mivel a kódokat fejből tudta, a szöveg megfejtése nem bizonyult számára bonyolultnak. 1858-ban már Latin-Amerikában is megjelentek a távíró vonalak, s a közben némileg módosított Morse-kód is egységessé vált a világon. Amikor pedig 1865-ben Párizsban megalakult az ITU, akkori nevén az International Telegraph Union, az első feladataik között szabványosították a nemzetközi Morse-kódot, ami aztán hosszú ideig az egységesen használt ábécé volt a távírózásban. Az alkotó születésének 230. évfordulója alkalmából a Magyar Rádióamatőr Szövetség szervezésében kilenc HA230-as prefixű állomás 10 napon keresztül CW és SSB üzemmódban forgalmazott, a suffixekből az ünnepelt mester, SAMUEL MORSE nevét kellett kirakni. A speciális állomások a következők voltak: HA230MSE, HA230S, HA230A, HA230M, HA230U, HA230E, HA230L, HA230O, HA230R. Éljen a rádióamatőrök emlékezetében még több száz évig a Nagy Alkotó munkássága! Jeleit használjuk minél gyakrabban, hiszen a morzejel zene minden rádióamatőr fülének!

Az 1951-es születésű HSC, High Speed Club, a morzét igencsak felsőbb szinten használó rádióamatőrök közismert, kedvelt klubja. 1951-ben alapították, az első tagok DL1CO, DL1EL és DL7AH amatőrtársak voltak. Jelenleg több mint 1400 rádióamatőr rendelkezik klubtagsággal, közülük mintegy 40 magyar. A klubéletnek a sávokban kell lezajlania, CW üzemmódban. Ezért kezdettől fogva, a mai napig nem bejegyzett egyesületként működik. A HSC laza érdekcsoportnak tekinti magát a DARC-on belül. Ezen kívül a HSC az Európai CW Szövetségnek, az EUCW-nek a tagja. Klubállomásai, a DKØHSC és DLØHSC, valamint a DAØHSC állomás, amely különleges alkalmakkor aktiválódik, természetesen CW üzemmódban. A HSC havonta megjelenő Bulletinijéből értesülhetünk az aktualitásokról, a klubról szóló hírekről és az új tagok felvételéről. Évente két alkalommal HSC CW versenyt rendeznek, február utolsó, valamint november első vasárnapján. A klub jelenlegi elnöke DL5XL, Felix. A 70. születésnap alkalmából a DP70HSC hívójellel forgalmaznak, patinás hívójelű operátori gárdával, többek között DK4LXA, DL5YM, DL5YL, DJ1YFK virtuóz jeleit hallhatjuk.

A világjárvány idén is új kihívások elé állította a kiállítás rendezőit. Május elején hivatalosan is bejelentették a rendezvény off-line törlését. A digitális tér viszont kitárult, 2021. június 25-én, pénteken 15 órakor a HAM RADIO World megnyitotta virtuális kapuit. A HAM RADIO World egy virtuális 2D világ, amelyet a webböngészőben lehetett felfedezni. Egy 90-es évekbeli videojátékhoz hasonló, de a valóságban egy hatalmas, több felhasználós online videokonferencia-eszköz állt rendelkezésre, elképesztő funkciókkal. Lehetett beszélgetni más YL-ekkel. Reméljük az „avatar történet" idén befejeződött, és 2022. június 24. és 26. között a 45. HAM RADIO kapuit már újra off line üzemmódban nyithatják meg a rádióamatőr világ előtt.

Sok kis kapcsolás

Hobby Elektronika *című folyóiratunk első (1990. júniusi) számától igen nagy népszerűségnek örvendett az abban rendszeresen jelentkező „skk – sok kis kapcsolás" rovat. Napjainkban ezen régebbi számok gyakorlatilag beszerezhetetlenek és a közismert mottó - Egy újszülöttnek minden vicc új! – elektronikabeli variánsa is igaz.*
Évkönyvünkben most továbbfolytatjuk a régebbi Hobby Elektronika évfolyamok skk-tallózását.

Passzív „Loudness"-szabályozó

Az **1. ábra** egy igen jó paramétereket igérő RC-hálózatot mutat be, amelyet az SGS-Fairchild fejlesztett ki 1968-ban. A hálózatot az erősítőláncba úgy kell beiktatni, hogy a bemenete kis impedanciás kimenethez, a kimenete nagy impedanciájú bemenethez illeszkedjen.

A fejlesztők fejhallgatós zenehallgatás mellett „drámai" hangzású effektusról beszélnek.

Hűtőventilátor-szabályozó

A műszerekben, PC-kben, HF-végerősítőkben használatos kis DC-ventilátorok teljesítményszabályozására alkalmas rendkívül egyszerű áramkör látható a **2. ábrán**. A ventilátort közvetlenül meghajtó TIP127 típusú Darlingtont jó termikus kapcsolatba kell hozni a hűtött objektummal, pl. a hűtőkéménnyel. (Ez egyben a szabályozó kör hőmérséklet-érzékelője!)

A Darlingtont a BC327 vezérli; a kívánt hőmérséklet a 2,2 kohmos potenciométerrel állítható be. Egy 80 mm-es ventilátoron 3,2 V kapocsfeszültséget mértek 16 °C hűtőborda-hőmérsékletnél, ami 13,2 V-ra emelkedett akkor, amikor a hűtőborda hőmérséklete elérte a 43 °C-ot.

Diódás tápátkapcsoló

Elektronikus készülékek kettős, azaz hálózati és akkumulátoros táplálásának igénye esetén, a **3. ábrán** vázolt ötlet alapján egy egyszerű átkapcsolót készíthetünk.

A példában a fogyasztó 6 V névleges feszültséget igényel. Az áramkör bemenetére egy hálózati tápegység csatlakozik, amely:

– tölti az akkumulátort a csillaggal jelzett ellenálláson keresztül, valamint

– a nyitott D1...3-on át működteti a fogyasztót;

– a D4 ekkor zárva marad.

Hálózat nélküli üzemben, ill. feszültség-kimaradáskor az akkusor táplálja a fogyasztót, D4-nyit, s D1...3 pedig zár. Az átkapcsolás automatikus, a fogyasztó táplálása folyamatos.

D szerepe a polaritásvédelem. A diódák – a fogyasztó áramfelvételétől függően – 1N4148, 1N4001 stb. típusúak lehetnek. Amennyiben az üzemidő domináns részében hálózati táplálásra készülünk, akkor a csillagos jelű ellenállást az akkuk csepptöltésének megfelelő áramra állítjuk be.

FET-es feszültségmérő

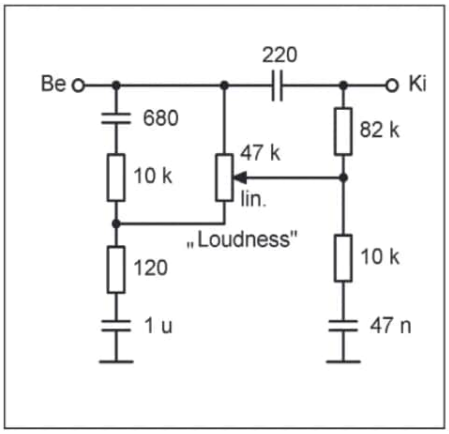
Kezdő építgetők első komoly, immár „meleg" - azaz aktív áramköri alkatrészt is tartalmazó – analóg műszere lehet a **4. ábra** alapján megépített voltmérő. A FET az R8...R11 ellenállással és a P3 potenciométerrel hidat alkot; ennek átlójában működik a P2 trimmerrel soros, 1 mA-s alapműszer. A bemeneti, de az R1...R6 tagokkal leosztott feszültség e híd – előzőleg a P3-mal beállított – egyensúlyát borítja fel.

A K1 – hatállású, két áramkörös – kapcsoló 1. állásában az alapműszer végkitéréséhez tartozó bemeneti feszültség 1 V, ami a P2-vel kalibrálható. A kapcsoló további állásaiban ez a feszültség rendre: 5, 10, 50 és 100 V.

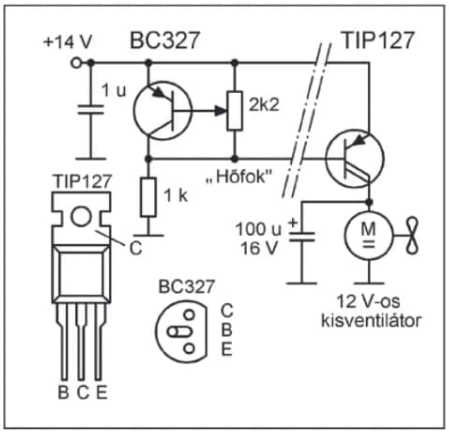
A kapcsoló 6. állásában 0...100 kohm közötti ellenállásokat is – eléggé pontatlanul, de – mérhetünk. Nyitott műszerkapcsok esetén az alapműszer mutatója a 0-án áll, zárt kapcsok esetén pedig – a P1-gyel beállítandóan – végkitérésbe lendül.

Gigaohm-indikátor

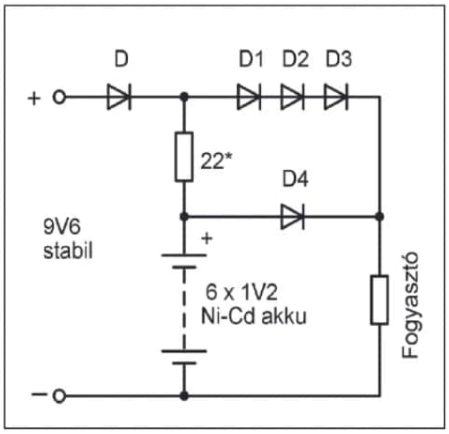
Az amatőrök birtokában levő szokványos univerzális mérőműszerekkel, ellenállásmérő-hidakkal nem lehet ellenőrizni, hogy a gigaohm nagyságrendű ellenállások nem szakadtak-e, vagy



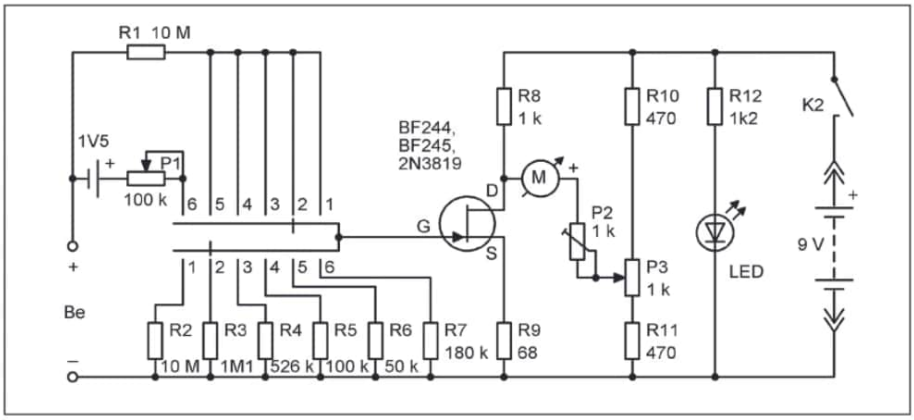
1. ábra



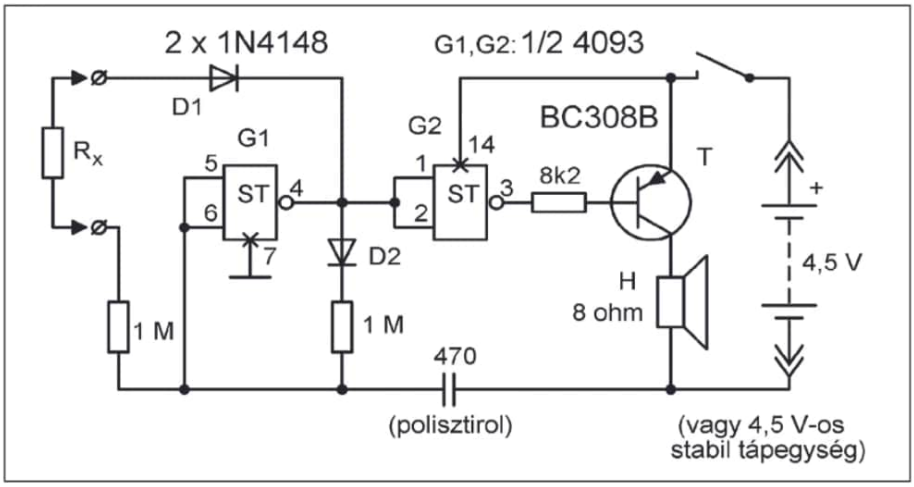
2. ábra



3. ábra



4. ábra



5. ábra

pl. egy még beültetetlen nyák-on nincs-e ilyen nagyságrendű átvezetés.

Az **5. ábra** szerinti akusztikus indikátor éppen az ilyen tesztekre alkalmas. A R_X kapcsokat rövidre zárva a generátor szimmetrikus négyszögjelet generál, körülbelül 1 kHz-en. Az R_X ellenállást növelve a frekvencia csökken, Gohmnál már csak kb. 10 Hz. Tekintettel az igen nagy bemeneti impedanciára, az áramkört célszerű „légszereléssel” elkészíteni. A bemeneti kapocspár szigetelése teflon vagy kerámia legyen.

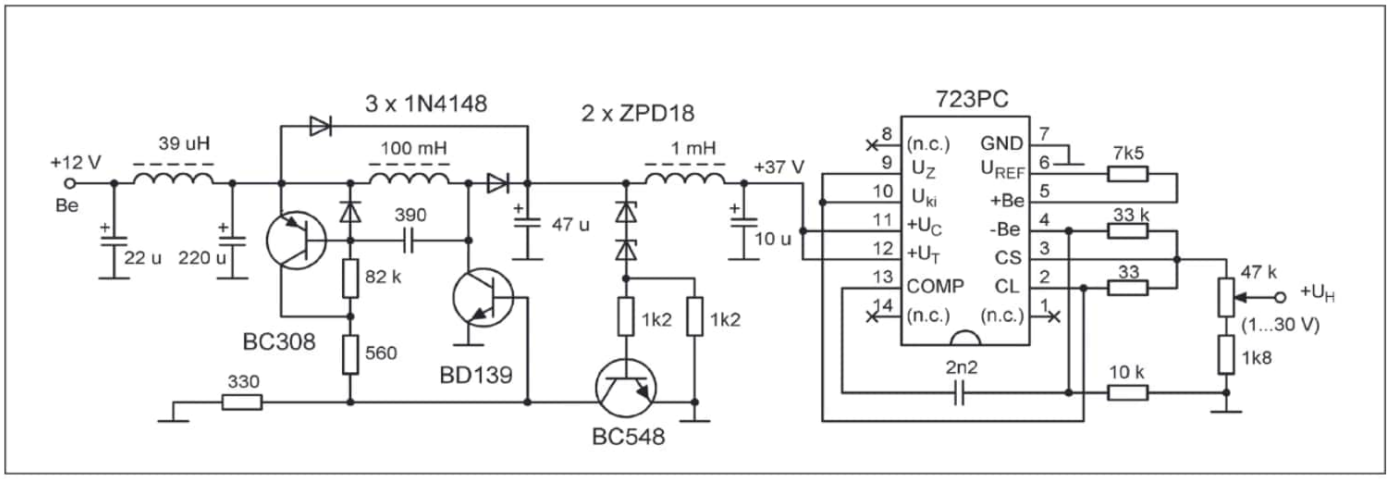
Precíziós hangolófeszültség-konverter

A **6. ábrán** látható DC/DC konvertert varikap hangolású fokozatok hangolófeszültség-ellátására tervezték. A 12 V-os, előszűrt tápfeszültségből a szabályozott, háromtranzisztoros transzverter kb. 37 V-os, előstabilizált egyenfeszültséget állít elő. A 723-as integrált áramkör ebből nagyon stabil, mintegy 30 V-os feszültséget „gyárt”. Ezt egy precíziós kimeneti potenciométerrel (praktikusan helipottal) oszthatunk le a kívánt értékre, azaz ezzel hangolhatunk.

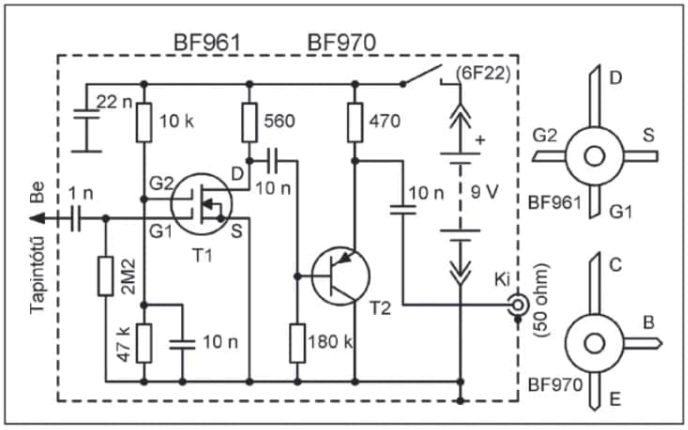
Nagyimpedanciás mérőfej DFM-hez

A szokványos amatőr építésű digitális frekvenciamérők bemenete általában TTL szintű jeleket fogad. A **7. ábra** szerinti érzékeny, az URH-sávban is működőképes, nagy bemeneti impedanciájú mérőfejet csatlakoztatva az ilyen DFM-hez, azzal akár egy rezgőkörön is mérhetünk anélkül, hogy azt lényegesen leterhelnénk vagy elhangolnánk.

A mérőfejet célszerű árnyékoló tokba (pl. egy min. 28 mm belső átmérőjű alaumínium csődarabba) szerelni úgy, hogy abban a 9 V-os rádiótelep és a miniatűr telepkapcsoló is helyet kapjon. A konstrukció kialakításánál arra kell törekedni, hogy a bemenet szórt (szerelési) kapacitása minél kisebb legyen. Ennek érdekében a BF961-et egészen az árnyékolódoboz (vagy cső) végénél helyezzük el, és a tapintótű minél rövidebb legyen. A tűt a toktól vékonyfalú teflonkúppal szigetelhetjük el. Az erősítő kimeneti impedanciája kb. 50 ohm. Célszerű a kimenetet a frekvenciamérő bemenetével egy 50 ohmos koaxkábellel összekötni. A DFM bemenetével párhuzamosan pedig egy akkora ellenállást kapcsolni, hogy ott is kiadódjon az 50 ohm impedancia. (Persze csak akkor, ha a bemenet nem eleve specifikáltan 50 ohmos.)



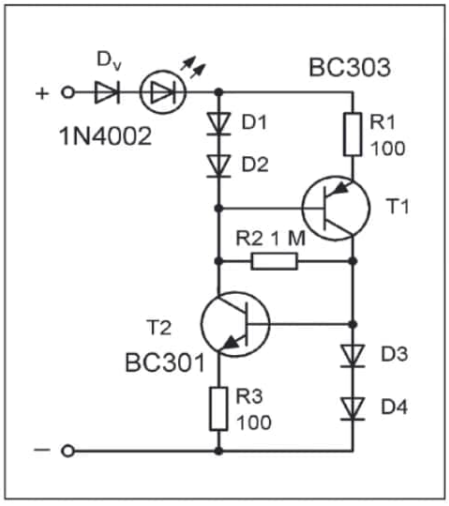
6. ábra



7. ábra

Feszültségjelző 4 V-tól 50 V-ig

Valamely, 4 V-tól akár 50 V-ig terjedő mértékű tápfeszültség meglétének LED-es kijelzésére használható a **8. ábrán** szemléltetett áramkör. E viszonylag



8. ábra

széles feszültségtartomány ellenére a LED-en kb. 14 mA-nyi, jó közelítéssel állandó áram folyik át.

A D1-D2, R1 és T1 konstansáramgenerátort alkot, amelynek árama domináns részben D3-D4-en folyik át. A T2, R3 és D3-D4 ugyancsak áramgenerátort alkot, amelynek árama alapvetően D1-D2-en halad át. (Tehát a két áramgenerátor úgymond egymásnak dolgozik.) A két – közel egyforma – áram összege a kb. 14 mA, ez hajtja meg a LED-et.

D_V az esetleges fordított polaritású táplálás ellen nyújt védelmet.

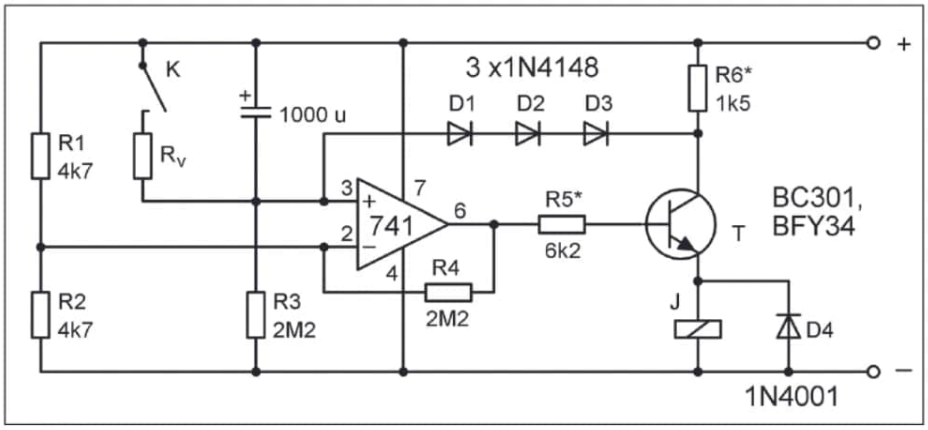
D1...D4 szinte tetszőleges típusú szilícium, kisteljesítményű példányok lehetnek.

„Tízperces" késleltető

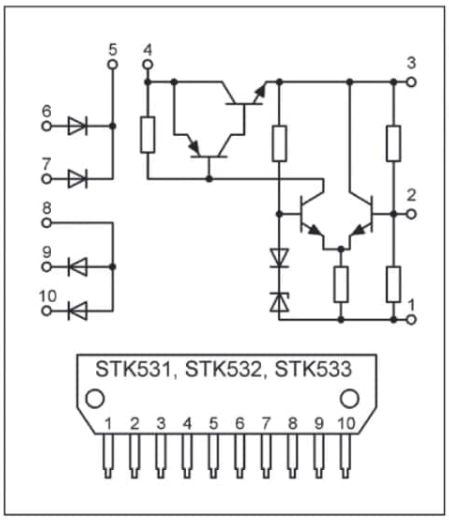
A kondenzátor kapacitásának megválasztásával néhány másodperctől akár 20 percig terjedő elektronikuis késleltetés érhető el a **9. ábrán** vázolt áramkör segítségével. A feltüntetett 1000 uF esetén a késleltetés mintegy 10 percnyi.

A kapcsoló zárásakor a kondenzátor – a néhány ohm értékű R_V, az érintkezők beégése ellen védő ellenálláson keresztül – szinte azonnal, s teljesen kisül. Az IC neminvertáló bemenete, ebből eredően is a tápfeszültség szintjére kerül. A tranzisztor nyit, a jelfogó meghúz.

A kapcsoló nyitásakor a kondenzátor az R3 útján töltődni kezd. A már említett neminvertáló bemenet feszültségszintje csökkenni kezd; amikor e feszültség az invertáló bemenet szintje alá jut, úgy az IC „átbillen", a tranzisztor lezár, a jelfogó elenged. A D1-D3 lánc (tulajdonképpen egy visszacsatolás) javítja az átbillenések határozottságát.



9. ábra



10. ábra

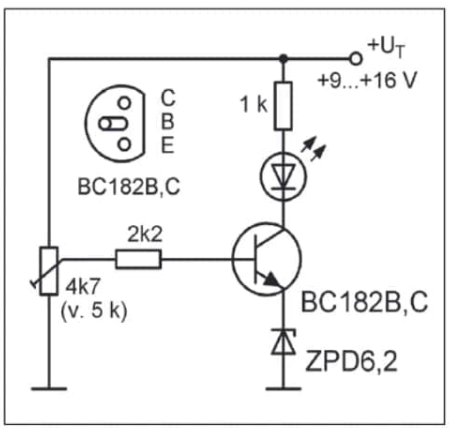
STK 531...533 feszültség-stabilizátorok

A japán SANYO cég a méltán népszerű, STK-típussorozatú hibrid IC-inek választékában feszültségstabilizátorok is szerepelnek. Az STK531 12 V-os, az STK532 18 V-os, az STK533 pedig 24 V-os stabil kimeneti feszültséget szolgáltat, +/- 0,3 V pontossággal, legfeljebb 2 A-ig terjedő terhelhetőség mellett.

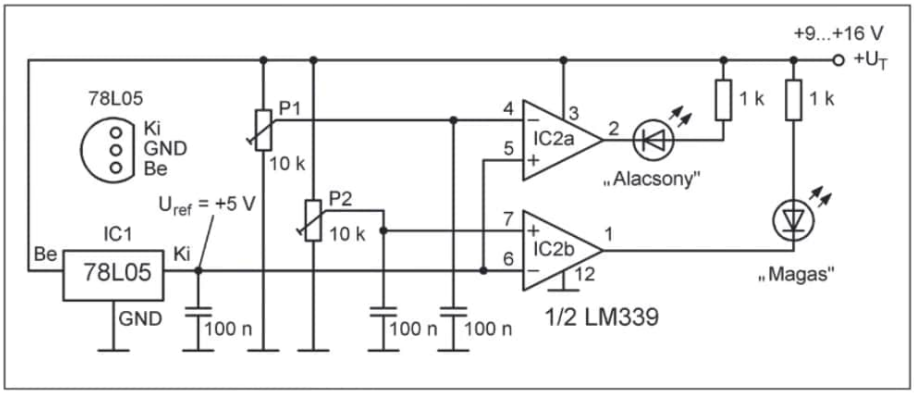
Az IC-k belső kapcsolása és vázlatos küllemrajza a **10. ábrán** látható. A baloldali két-két teljesítménydióda pl. Graetz-hídként is üzemelhet. A „4" jelű kivezetéshez csatlakozó két tranzisztor komplementer Darlington-párt alkot; ezt a szeleptranzisztort vezérli a rajz jobb oldalán látható, szokványos differenciálerősítő. (Az IC-k egy-egy alkalmazási példáját a majd a 14., 15. ábrán szemléltetjük.)

Egyszerű tápfeszültségmonitor

A **11. ábrán** látható, diszkrét elemekből álló áramkör a túlfeszültséget érzékeli: ha a $+U_T$ meghaladja a potenciométerrel



11. ábra



12. ábra

beállított küszöbszintet, akkor a LED világít. Az áramkör némileg hőfokkompenzált, 7 V körüli referenciafeszültségét a Z-dióda és a tranzisztor B-E diódája együttesen adja.

Kétküszöbű tápfeszültség monitor

A **12. ábra** tápfeszültség-ellenőrző kapcsolása alkalmas a beállított határértéknél alacsonyabb, illetve egy másik beállított határértéknél magasabb $+U_T$ tápfeszültség jelzésére. A megengedettnél alacsonyabb szintet az IC2 komparátornégyes „a" egysége érzékeli; a küszöbfeszültség beállítása a P1-gyel történik. A $+U_T$ túlságosan magas szintjének hatására az IC2b kimenet billen **L** szintre; a küszöbszintet a P2-vel állítjuk be. A komparátorok egy-egy LED-et működtetnek. A két komparátor közös referenciafeszültségét az IC1 5 V-os kimeneti feszültsége képezi.

LCD-teszter

Folyadékkristályos kijelzők tesztelésére, kivezetései azonosítására alkalmas aránylag egyszerű áramkört mutatunk be a **13. ábrán**. A 40106 tok hat darab invertáló Schmitt-triggert tartalmaz. Ebből az 1-2. lábak közötti egységet az RC-taggal egy 45 Hz-es négyszöggenerátorrá alakítjuk, a 3-4. egység invertál, a többi képezi a két ellenütemű kimeneti buffert. Az LCD-t a 47 kohmos ellenállásokon keresztül hajtjuk meg. Az egyiket az ún. Backplane – közös – ponthoz érintjük, a másikkal végigpásztázva a kivezetéseket, megfigyelhetjük, hogy mikor melyik szegmens aktiválódik.

Multiplex vagy mátrix kijelzőnél az egyik kimenetet a vizsgált sorkivezetéshez érintjük, és a másikkal az oszlopkivezetéseket pásztázzuk végig. Ezt aztán minden sorkivezetéssel megismételjük.

Mivel a folyadékkristályos kijelzők nemcsak a DC meghajtás hatására károsodhatnak, de sztatikus feltöltődés is tönkreteheti azokat, ezért különösen óvatosan bánjunk velük! Az áramkört – éppen a kijelző „kényes" mivolta miatt – célszerű telepről üzemeltetni.

Az STK 531...533 IC-k alkalmazási példái

A **14. ábra** szerinti kapcsolásban az IC-k beépített teljesítménydiódáit Graetz-hídba kapcsoljuk. Az így kialakított egyenirányítót követő pufferkondenzátor szerepét a pl. 2200 uF-os elkó látja el, amelynek kapacitás- és feszültségtűrését a konkrét feladathoz választjuk meg. A – célszerűen kettős szigetelésű – transzformátor adatait ugyancsak a kimeneti feszültség- és terhelhetőség-igény szabja meg.

A szükséges U_{ki} kimeneti feszültség függvényében a következő transzformátor-szekunder feszültség javasolható.

U_{ki}	$U_{szekunder}$
12 V	24, max. 28 V
18 V	30, max. 34V,
24 V	36, max. 40V

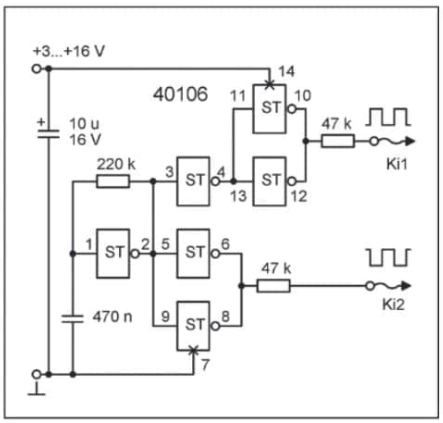
A **15. ábrán** vázolt kapcsolásban a transzformátor szekundere az előzőekhez képest közel kétszeres menetszámú középleágazással. Ekkor két teljesítménydióda kihasználatlan marad; a közös anódjukat, azaz az IC 8. kivezetését célszerű a kapcsolás 0-pontjára kötni (a kapcsoláson szaggatva ábrázoltuk).

Rádióvevő-adapter középhullámra

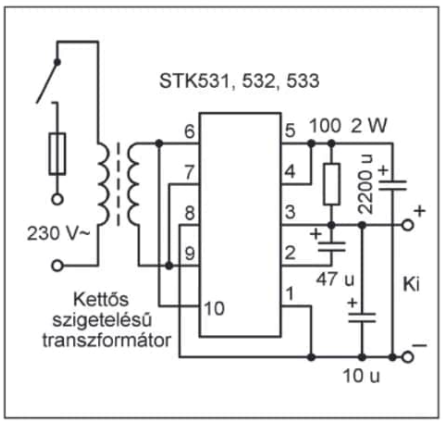
Műholdak ide, URH-FM oda, internet rádió amoda – a fejlett technika ellenére tényszerű valóság, hogy pl. a Kossuth Rádió solti adója középhullámon (540 kHz) sugároz. Sok más társához hasonlóan.

A középhullámú adóállomások *közvetlen* vételkörzetében eredményesen alkalmazható vevőadapter kapcsolását tartalmazza a **16. ábra**. Ez tulajdonképpen egy „egyenes vevő", amelynek antennája egy 80...130 mm hosszú ferritrúd. Az erre tekercselt L1 60 menetből, az L2-es 10 menetből áll, lehetőleg litzehuzalból készítve. A C1 ábrázolt értéke kb. 800...900 kHz-es vételi frekvenciát eredményez; itt természetesen célszerű egy nagyobb értékű, pl. 500 pF-os forgókondenzátort alkalmazni.

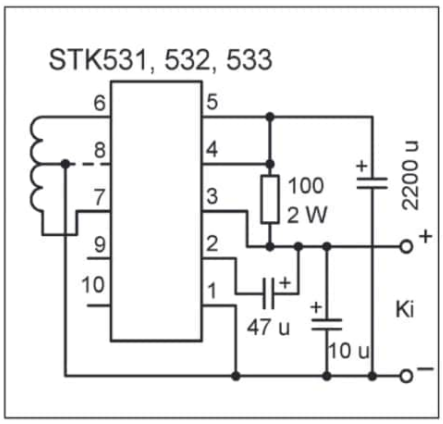
A tranzisztor és az azt környező passzív alkatelemek nagyfrekvenciás



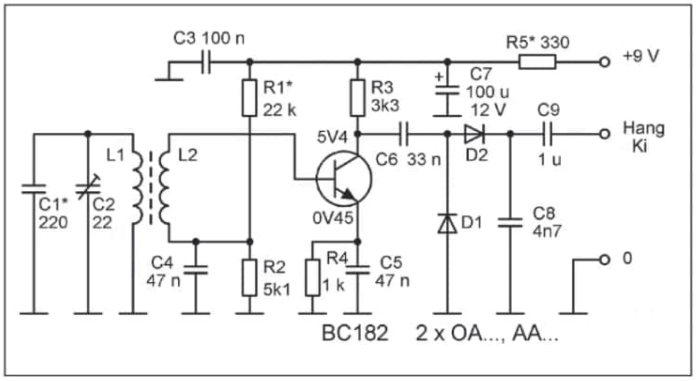
13. ábra



14. ábra



15. ábra



16. ábra

erősítőt alkotnak. A germánium jeldiódák (pl. 1N34-ek, D9B-k is lehetnek) feszültségkétszerező kapcsolásban demodulálják a vett jelet. A kimeneti, néhány millivolt szintű jelet egy hangerősítőre kell vezetni.

Alacsony torzítású dinamikakompresszor

Mikrofonok és egyéb hangfrekvenciás jelforrások jelének amplitúdószabályozott erősítésére tervezték a **17. ábrán** bemutatott egyszerű dinamikakompresszort. A kapcsolás szabályozott erősítője az OP1, amelynek feszültségerősítését a negatív visszacsatolóágba iktatott FET, mint szabályozható ellenállás gate-jének DC vezérlőfeszültsége befolyásolja. A FET-et torzításcsökkentő negatív visszacsatolással láttuk el (470 kohm, 100 nF).

A negatív vezérlőfeszültséget az OP2, Au = 10 invertáló erősítésű AGC-erősítő kimenőjelének egyenirányításával és szűrésével állítjuk elő (1N4148, 1 uF). Az áramkör 4 mV...4 Veff bemenetifeszültség-határok között 200 mV-os kimeneti szintet biztosít.

Kombinált teszter

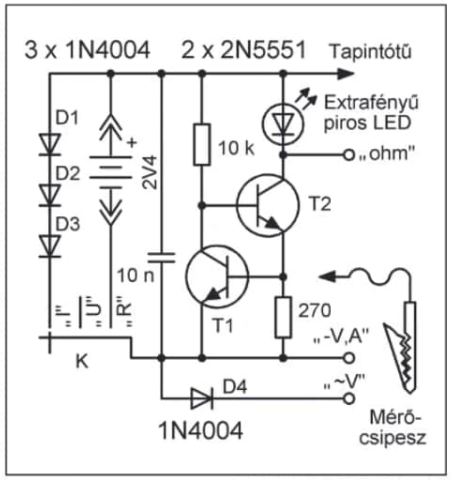
A **18. ábrán** látható LED-es „próbaceruza" ellenállás (szakadás, rövidzár), AC/DC feszültség, DC áram LED-es indikálására alkalmas. Az üzemmódot egyrészt a K háromállású kapcsolóval, másrészt a vizsgált áramkörhöz csatlakoztatott mérőcsipeszes vezetéknek az „Ω", „-V, A", ill. „~V" csatlakozósáv megfelelő hüvelyébe történő csatlakoztatásával állíthatjuk be.

Egyenfeszültség-jelző módban a K szakadást képvisel. Ekkor a „-V, A" pontot földre kötve és tapintótűt a vizsgált ponthoz érintve a kéttranzisztoros áramgenerátor a LED-et aktíválja akkor, ha a vizsgált pont feszültsége >1,75 V. Váltakozó feszültség indikálásához a „~V" kapcson keresztül földeljük a tesztert, ekkor a D4 egyenirányít. A méréshatár – legfeljebb néhány másodperces tesztelés erejéig – 150 V.

Árammérés esetén a K-t „I" állásba kapcsolva a D1...D3 gondoskodik arról, hogy az áramkörön kb. 1,8...3 V essen. Az indikálható áram 5...1000 mA.

Ellenállás-indikáláshoz (szakadás-, zárlatvizsgálathoz) a két darab sorbakapcsolt NiCd gombcella szolgáltatja a vizsgálófeszültséget (kapcsoló „R" állás). Ekkor nyugalmi helyzetben LED világít, és annak söntölésével elalszik.

A teszter alkatrészei és a két gombelem – némi ügyességgel – egy keskeny panelre telepítve például egy nagyobb átmérőjű golyóstollházba beszerelhetők. A ház elején nyúlik ki a tapintótű, a hátulján pedig egy miniatűr, háromérintkezős csatlakozóaljzat.



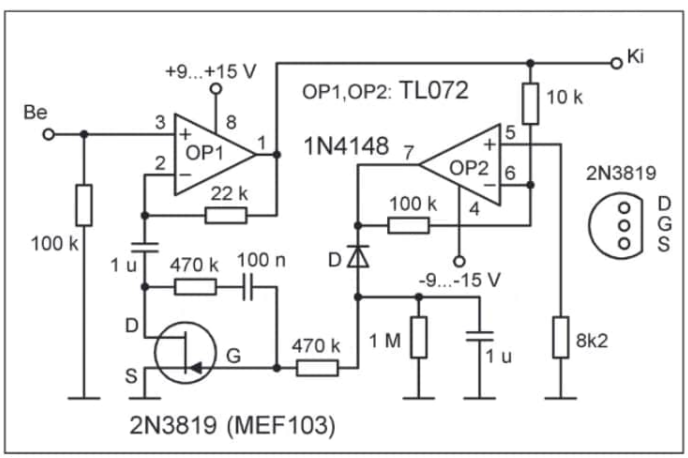
18. ábra

Ennek a kiválasztott hüvelyébe dugaszoljuk a csatlakozócsappal ellátott mérőcsipeszes hajlékony vezetéket. A 160 V-os npn tranzisztorok pl. MPSA42-vel helyettesíthetők.

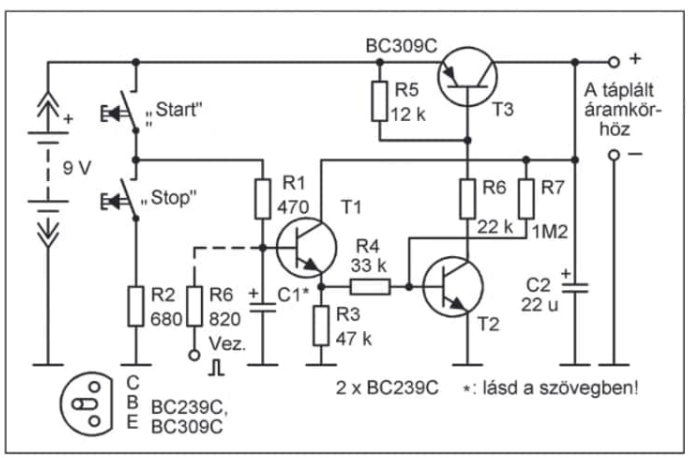
„Auto power off" – egyszerűen

A **19. ábra** szerint áramkör a „Start" gomb megnyomásakor rákapcsolja a külső, kis fogyasztású elektronikus készüléket (pl. egy zsebrádiót) a 9 V-os telepre, majd egy, az áramköri elemek által meghatározott időtartam leteltével automatikusan lekapcsolja a telepről. A készülék az időzítés letelte előtt is bármikor kikapcsolható a „Stop" gombbal, vagy az opcionális „Vez" bemenetre érkező külső pozitív impulzussal.

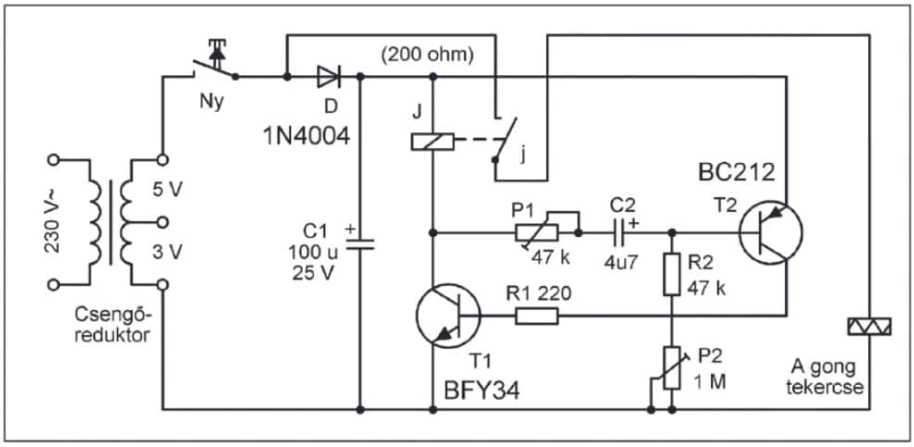
A „Start" gomb megnyomása után a C1 időzítő (tantál!) kondenzátor az R1-en keresztül a telepfeszültségre töltődik fel. A kisülése a T1 nagy bemeneti ellenállású emitterkövető báziskörén keresztül történik meg. Ez a kapacitásértéktől függően akár 10 percig is eltarthat. Amíg a T1 vezet, addig a pozitív visszacsatolású (így határozott átbillenésű)



17. ábra



19. ábra



20. ábra

T2 és ezzel a T3 áteresztő-tranzisztor is nyitva van. A „Stop" gomb a C1-et az R1-R2-n keresztül gyorsan kisüti. A C1 értéke 10 uF...220 uF között lehet.

Együtéses gongból bim-bam

A hagyományosnak mondható kapucsengők (ajtócsengők) helyett számtalan házban (lakásban) a kellemes hangú gongot alkalmazzák. E hangkeltő eszköz a nyomógombja működtetésekor csak két rövid, egymást követő jelzést szolgáltat, így azt nem mindig érzékelik a házigazdák. A gongot a **20. ábrán** vázolt kapcsolássá kiegészítve, az *Ny* nyomógomb zárva tartása idejére, folyamatos hangjelzést nyerünk.

A két tranzisztor a passzív alkatelemekkel egy astabil multivibrátort alkot. *Ny* zárásakor a multivibrátor a diódával egyenirányított tápfeszültséget kap, s a működésének ütemében a *J* jelfogó meghúz s elenged. A *J* munkaérintkező úgy kapcsolgatja a gongot, mintha az érkező személy ütemesen nyomkodná a gombot. A lakásban az eredő hanghatás jól emlékeztet a (pl. filmekből ismert) bim-bam jelzésre. A P1 és a P2 trimmerpotenciométerrel a felhasználó számára legkellemesebb hanghatás (a gongütések szaporasága, ill. a „kalapács" tartási ideje) állítható be.

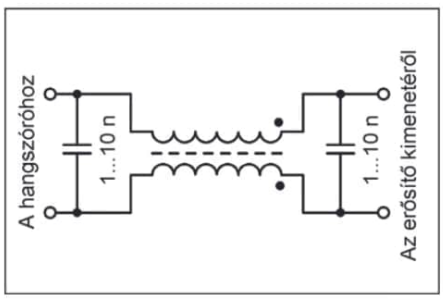
A T1 pl. 2N2218A, BSX32, BD139-cel, a T2 pl. BC308B, BC556, -557, -559-cel helyettesíthető.

RF-védelem hangerősítő kimenetére

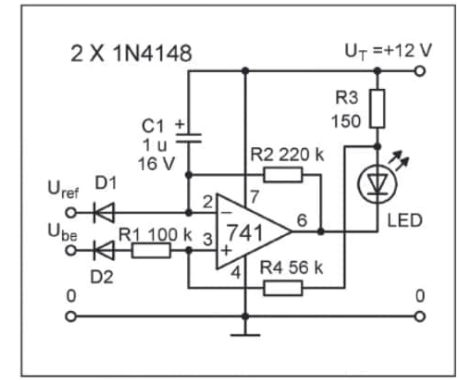
Zsúfolt lakókörnyezetben egy-egy amatőr-, CB- vagy éppen „profi" adókészülék kellemetlen zavarokat produkálhat a modern hangtechnikai eszközökben is. Az ilyen esetek többségét az utóbbiak tökéletlensége okozza: külső rádiófrekvenciás jellel szemben nincs kellő védelmük.

A **21. ábrán** a hangszóró vezetékén, mint „vevőantennán" át érkező zavaró jelek kivédésére mutatunk egy egyszerű megoldást. A szűrőt közvetlenül az erősítő kimeneténél iktatjuk be.

A tekercs szinte tetszőleges fajtájú vezetékből, egy ferritrúd teljes hosszára, bifiláris csévéléssel készüljön. (A két fekete pont az azonos – kezdet vagy vég – tekercskivezetésre utal.) Az így nyert induktivitás a hangszóró vezetékén az erősítő felé érkező ún. azonos fázisú zavarokat megállítja. A vezeték két ere közötti esetlegesen fellépő, ún. differenciálmódusú zavarokat a két (kerámia) kondenzátor hatásosan söntöli.



21. ábra



22. ábra

Komparátor – villogó kijelzéssel

A **22. ábrán** vázolt kapcsolásban a műveleti erősítő kettős feladatot lát el: egyrészt komparátorként, másrészt pedig LED-es állapotjelzésű multivibrátorként üzemel.

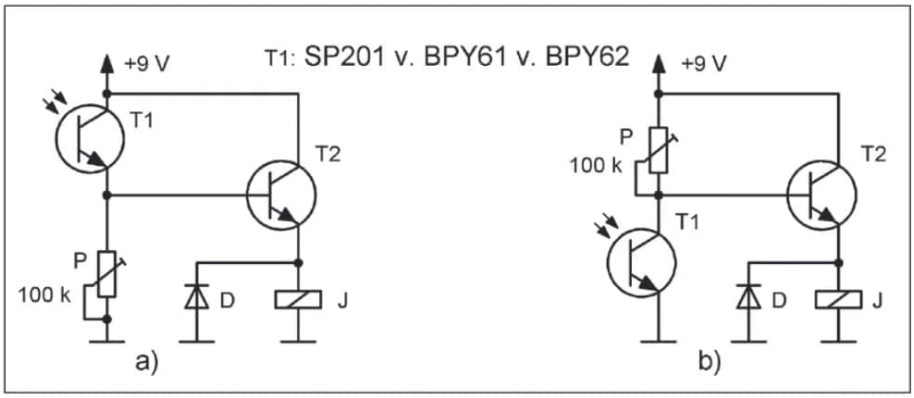
Az áramkör U_{ref} bemenetére valamely, 0 és 12 V közötti referenciafeszültséget kapcsolunk. Ha az U_{be} bemeneti feszültség ennél nagyobb, akkor a multivibrátor nem billeg, az IC kimenete közel a tápfeszültség szintjén áll, s a LED nem világít.

Amikor $U_{be} < U_{ref}$, akkor a multivibrátor működésének ütemében a LED villog.

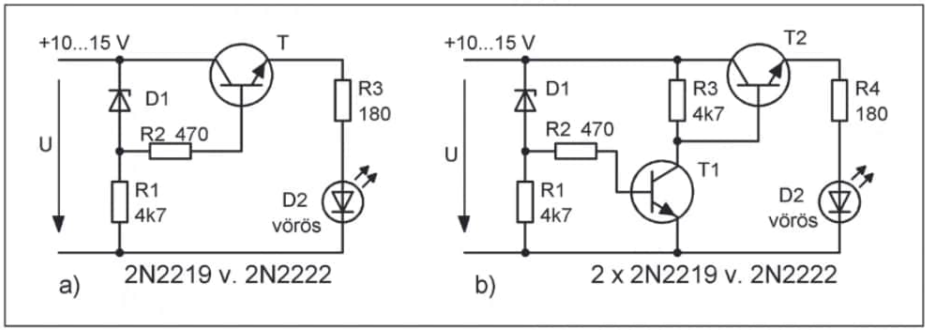
A kapcsolás valamely feszültség-határérték figyelésére használható.

Fénnyel vezérelt jelfogók

A **23.a ábra** megvilágítás esetén meghúzó jelfogókapcsolást mutat, míg a **23.b ábrán** látható áramkör jelfogója megvilágítás esetén elenged. Mindkét kapcsolásban fototranzisztort használunk fényérzékelőként. A meghúzáshoz szükséges fényviszonyok esetén a P trimmerpotenciométerrel állítjuk be T2 vezető állapotát (a billenési pontot).A jelfogó 9 V-os, tekercsének ellenállása 500 ohm.



23. ábra



24. ábra

A fototranzisztor a sima üvegfelületű BPT131-gyel vagy az üveglencsés BPT141-gyel is helyettesíthető.

Feszültségnövekedés- és csökkenésjelző

A Z-dióda feszültségénél nagyobb feszültségek esetén jelző kapcsolást a **24.a ábrán** láthatjuk. Ha az U értéke a D1 Z-dióda feszültségét meghaladja, akkor a T vezető állapotba kerül és kigyújtja a D2 vörös LED-et.

A **24.b ábrán** bemutatott áramkörben akkor világít a LED, ha az U értéke a zenerdióda feszültségénél kisebb. Ekkor ugyanis az eddig vezető T1 lezár, T2 pedig kinyit és aktiválja a D2-t.

A megfelelő feszültségű Z-dióda a ZPD... sorozatból választható. A tranzisztorok bármely kisjelű npn típussal helyettesíthetők (pl. BC182, BC546, BC548, 2N708, BCY58).

Hosszú idejű időzítő

Számtalan időzítési feladatra alkalmas a **25. ábrán** látható kapcsolás. Az Ny1 „Be” nyomógombot megnyomva a J jelfogó meghúz, majd az előre beállított idő után automatikusan elejt.

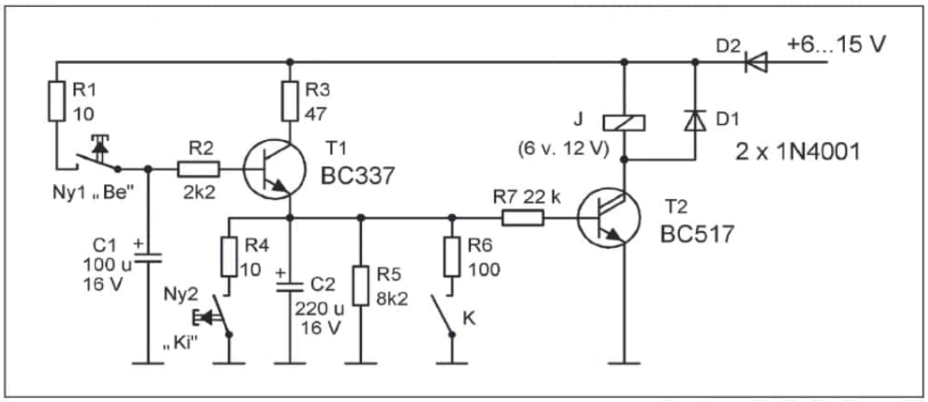
Az Ny1 megnyomásával igen gyorsan feltöltjük a C1-et a tápfeszültség értékére. A feszültség a T1 bázisára jutva azt bekapcsolja, és így az időzítő C2 kondenzátor is fel tud töltődni. A töltődés addig tart, amíg a C1 az R2-en és a nyitott T1-en keresztül el nem veszti töltését. A T2 Darlington-tranzisztor nyitásához, a jelfogó meghúzásához már néhány mikroamper bázisáram is elegendő.

A kapcsolásban csak kis szivárgási áramú kondenzátort célszerű alkalmazni. Az időzítés ideje egyszerűen módosítható, ha az R5 ellenállással párhuzamosan kapcsolunk egy ellenállást (pl. K kapcsoló segítségével az R6-ot). Az adott elemértékek mellett a K kikapcsolt állásában az időzítés időtartama kb. 10 perc, K-t bekapcsolva 10 másodperc. Ha a tápfeszültség 9 V, a jelfogó pedig 6 V-os, 60 mA meghúzási áramú, akkor R5 = 1 kohm esetén 2 perc, 4,7 kohmnál 7 perc, 10 kohmnál 13 perc, 100 kohmnál 1 óra, 560 kohm-nál pedig kb. 2 óra az időzítés.

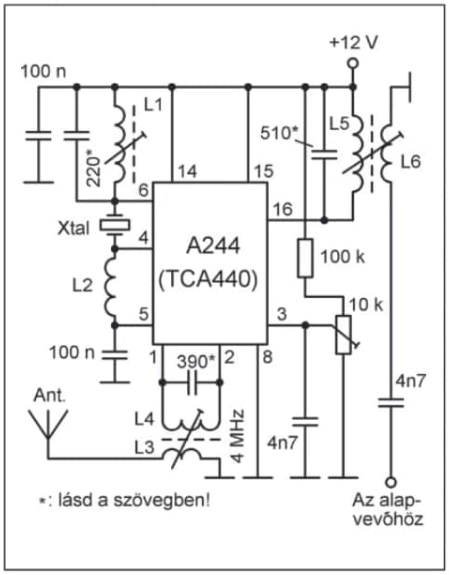
Nyugalmi (stad-by) állapotban az áramkör gyakorlatilag nem fogyaszt, áramfelvétele csak néhány nanoamper. Az áramkör az időzítés lejárta előtt is kikapcsolható az Ny2 nyomógomb megnyomásával, az időzítő kondenzátor kisütésével.

RH-vevőkonverter

Az utóbbi évtizedben, az URH, a műholdas és az internetes rádió-műsorvétel „divatja” közepette a *rövidhullámok*



25. ábra



26. ábra

mintha feledésbe merültek volna. Pedig az igazi vételi „csemegék” még mindig ez utóbbi frekvenciákon hallhatók. A jó minőségű, de beépített RH-sávokkal nem rendelkező, vagy éppen csak keskenysávú vevőkhöz egyszerű konverter készíthető a **26. ábra** alapján.

Az áramkör lelke a TCA440 típusú, igen sokoldalú AM-vevő IC; lábkompatibilis helyettesítő típusa, az A244. (Időnként mindkettő a *HAM-bazárból* is beszerezhető.)

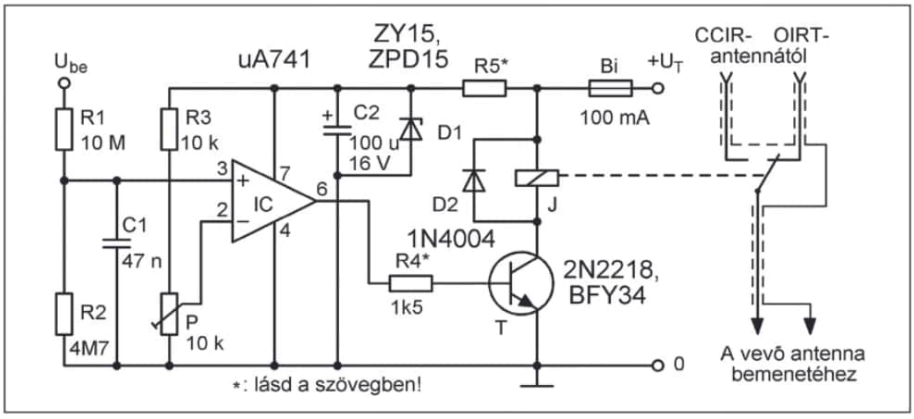
A kapcsolásban az IC előerősítő, keverő és helyi oszcillátor feladatot lát el. Az utóbbi szerephez (a rezgéskeltéshez) az L2 csak akkor szükséges, ha rezgőkvarcot nem alkalmazunk. Ha az Xtal rezgőkvarc pl. 5 MHz vagy 3 MHz-es, akkor a konverter a bemeneti, pl. 4 MHz-es RH műsorsávot a középhullámú sávban 1 MHz-re keveri át.

A tekercsek pl. roncszsebrádió AM KF-transzformátorai csévetestjére készülhetnek, zománcszigetelésű rézhuzalból. L1 25 menet, L2 8, L3 és L6 5-6, L4 30, L5 40 menet.

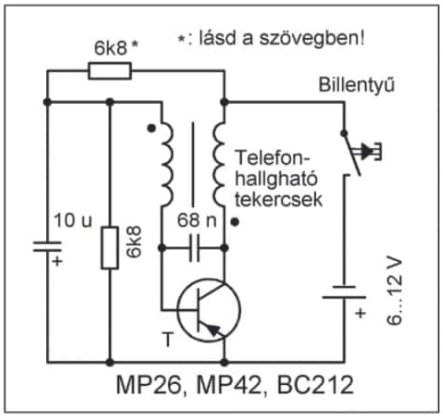
Az előerősítés mértékét a trimmerpotenciométerrel lehet változtatni. A kapcsolás 6...15 V közötti tápfeszültségről üzemeltethető.

Átkapcsoló URH-antennákhoz

A távolsági URH-rádióvétel „megszállottjai” célszerűen külön-külön antennát alkalmaznak a CCIR-sáv (87,5...108 MHz) és az egykori OIRT-sáv (66...73 MHz) vételéhez. (Ez utóbbi sávban már csak extra jó terjedés esetén vehetők állomások, ill. a 70 MHz-es amatőrsávban esetleg AM/NBFM adások.) Az antennák – a vételi sávtól függő – automati-



27. ábra



28. ábra

kus átkapcsolására szolgál a **27. ábrán** vázolt áramkör.

A műveleti erősítő IC komparátorként üzemel. Az U_{be} bemeneti feszültség a – kétnormás, folyamatos hangolású – rádiótuner varikapját hangoló feszültségből nyerhető. A magasabb frekvenciák felé történő hangoláskor a komparátor átbillen, a tranzisztor nyit, s működésbe hozza a jelfogót, amely a vevő bemenetét átkapcsolja a C-sávú antenna kábelére. Az átbillenés szintjét a trimmerpotenciométerrel lehet beállítani. Az U_T tápfeszültség 18...24 V lehet, amihez R5 = 0,68...2,2 kohm választható.

Morzegyakorló – hallgatóbetétből

Az elképzelhető szinte legegyszerűbb, a billentyűzés ütemében „sípoló" áramkört szemléltet a **28. ábra**. Mindössze 5 db alkatrészt kell beépíteni régi, leselejtezett telefonkészülék – roncsolás nélkül szétszedhető – hallgatóbetétjébe.

A hallgatóbetét 2 tekercsének soros kapcsolását megszüntetve, azokat az ábra szerint kötjük be. Természetesen a tekercsek közötti mágneses csatolás továbbra is megmarad, így ez a kis szerkezet jól hallható rezgéseket produkál.

Ha az áramkör nem működik, akkor az egyik tekercs végeit cseréljük fel egymással, ill. a csillaggal jelzett ellenállást változtassuk a kohmos tartományon belül! A legkellemesebb hangszín a 68 nF-ként feltüntetett kondenzátorral állítható be.

ELADÓ BF-F8+

szinte új, 5 W-os, VHF/UHF FM kézi adó-vevő, akkuval, töltővel, headset-tel.

Ára: 14.990 Ft.

Érdeklődni: HA5KU
239-4932, 239-4933
fbekei@radiovilag.hu

LCR-T4 multiteszter

L-C-R-mérés: 0,01 mH...20 H; 25 pF...0,1 mF; 0,1 Ω-tól

Felismer és lemér: npn, pnp tranzisztort, jFET-et, MOSFET-et, tirisztort, diódát, LED-et. Táp: 9 V (6F22). Megszerelt panel, csak a plexi házát kell összeállítani.

A HAM-bazárban csak 8.990 Ft

Ferritmagos tekercsek,
ferritmagos transzformátorok,
hálózati transzformátorok,
NF-tekercsek,
csévetestek, ferritek,
smd-induktivitások,
Amidon porvasmagok
nagy választékban kaphatók!
Postai utánvéttel is szállítunk.

TALI Bt.

2600 Vác, Zrínyi u. 39.
☎ 06/27/501 220 Fax: 06/27/501 221
tali@vnet.hu www.tali-transformers.com

INCOMP *Electronics* Elektronikai alkatrész kis- és nagykereskedelem

2120 Dunakeszi, Fő út 35. Tel.: 27/342-407 Fax: 27/341-601 E-mail: incomp@dunaweb.hu
Nyitva: hétköznap 9.00–17.00 óráig Postai utánvételes csomagküldés

Raktárról kínálunk többezer féle elektronikai alkatrészt.
IC-k, ellenállások, kondenzátorok, diódák, tranzisztorok, LED-ek, kvarcok stb. nagy választékban, SMD kivitelben is.
RIGOL műszerek disztribúciója **Internet címünkről www.incomp.hu online keresési és rendelési lehetőség!**

HIRDETÉSEK

Akkuvásár . . . . . 154. oldal
ANICO Kft. . . . . Borítólap I.
Digitális műszerek . . . . 13., 215., Borítólap IV.
Forrasztóállomások a HAM-bazárból . . . 43. oldal
Frekvenciamérők a HAM-bazárból . . . . 205. oldal
Global Focus Kft. . . . . 81. oldal
HAM-bazár kínálata . . . . 106., 116., 132., 154., 176., 177-180., 205., 215. oldal
Hi-Fi könyvek . . . . . 98. oldal
Hobby Elektronika Füzetek . . . . . Borítólap III.
INCOMP Kft. . . . . Borítólap I., 215. oldal
KONTEL Kft. . . . . Borítólap I.
Könyvek a HAM-bazárból . . 98., 154., 205. oldal
LOMEX Kft. . . . . 81. oldal
Maus Electronics Kft. . . . . 117., 205. oldal
PMR adó-vevő akció . . . . . 21. oldal
Rádiós könyvek . . . . . 205. oldal
Rádiótechnika – a jövő tervei . . . . . 117. oldal
Rádiótechnika 2022-es előfizetési akció . 3. oldal
Rádiótechnika régi évkönyvek vására . . 31. oldal
Rádiótechnika 2022-es évkönyv akció . 215. oldal
RET elektronika (Robtron El. Trade Kft.) Borítólap I.
Reményi I. Rádióamatőr Alapítvány . . . . . 21., 140. oldal
Rohde & Schwarz Budapesti Iroda . . Borítólap II., 32. oldal
Sylvania . . . . . 64. oldal
TALI Bt. . . . . 215. oldal
Távvezérlők a HAM-bazárból . . . . . 216. oldal
Zenegépek . . . . . 116. oldal

UNIVERZÁLIS távvezérlők - mert soha nincs kéznél...

URC20

- 6 készüléket vezérelhet: TV1-TV2-VCR-SAT-CBL és HIFI
- több száz világmárka, több ezer készülékének alapfunkcióit tudja
- nem felejtő memória az elemcseréhez
- 2 x AAA elemmel működik

csak **990 Ft**

URC21

- 8 készüléket vezérelhet: TV1-TV2-VCR1-VCR2-SAT-CBL-HIFI és DVD
- több száz világmárka, több ezer készülékének alapfunkcióit tudja
- nem felejtő memória az elemcseréhez
- 2 x AAA elemmel működik

csak **1290 Ft**

URC11T

- 10 készüléket vezérelhet
- előre programozott és **tanítható** kódok
- bármely infrás távirányító (klíma, ventilátor...) bámely funkcióját megtanulja
- kedvenc csatorna- és makrofunkció
- 4 x AAA elemmel működik

csak **1990 Ft**

HAM-bazár Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H-P. 09–14, Cs. 09–17 óra
Rendeljen, postán is elküldjük, a postaköltség felszámításával! 1550 Budapest, Pf. 123 239-4932/36 239-4933/36
hambazar@radiovilag.hu www.radiovilag.hu

4

MÁR MEGJELENT

A digitális HE Füzetek is kaphatók: www.dimag.hu

Elfogyott, csak digitálisan kapható!

Egy-egy szám ára: 2990 Ft.
Rendeljen, mert el fog fogyni!

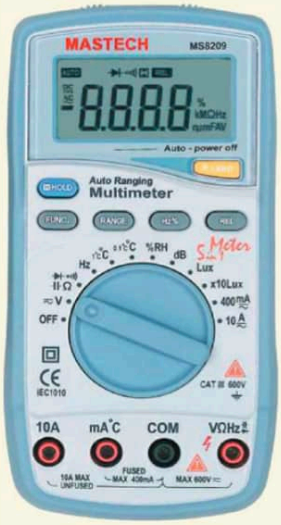
A HAM-bazár nyitva H–P. 09–14, Cs. 09–17 ó.,
Bp. XIII., Dagály u. 11. I. em.

Tel./fax: 239-4932, 239-4933 1550 Budapest, Pf. 123 hambazar@radiovilag.hu

Digitális multiméterek

>Mastech<
MS-8209

4 digites spec. DMM



Hangnyomásszintmérés:
35...100 dB
Megvilágításmérés:
4000 lx/40 000 lx
Páratartalommérés:
30%...95% RH
Hőmérsékletmérés:
20...+1000 °C

U-I DC:
0,4 V - 600 V; 40 mA - 10 A
U-I AC:
4 V - 600 V; 40 mA - 10 A
R: 400 ohm - 40 Mohm
C: 4 nF - 200 µF
f: 200 kHz

kitöltési tényező mérés
relatív mérés
aut. méréshatárváltás stb.

hordtáska
mérőzsinór
K-típ. hőmérőszonda

csak bruttó
21.990 Ft

MX-25 201

3 1/2 digites kijelzés

DC: 1000 V,
20 A
AC: 750 V,
20 A
R: 20 MΩ
C: 200 µF
T: –40...
+1000 °C

dióda-,
tranzisztor-
teszt,

szakadás-
vizsgálat

mérőzsinór,
hőmérőfej,
műanyag
védőpapucs

csak bruttó
7.990 Ft

MX-25 303

3 3/4 digites kijelzés

automatikus
méréshatár-
váltás

DC: 1000 V,
10 A
AC: 750 V,
10 A
R: 40 MΩ
C: 100 µF
f: 10 MHz
T: –40...
+1000 °C

dióda-,
tranzisztor-
teszt,
szakadás-
vizsgálat

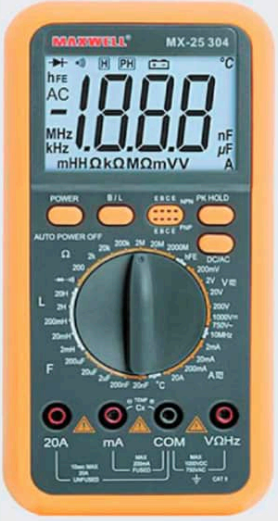
mérőzsinór,
hőmérőfej
+250 °C-ig,
műanyag
védőpapucs

csak bruttó
8.990 Ft

Kaphatók a szerkesztőség HAM-bazárjában: **Budapest XIII., Dagály u.11. I. em.**, H-P: 9-14, Cs. 9-17ó.
Utánvéttel is megrendelhetők, a postai és csomagolási költségek felszámításával.
Postacím: 1374 Budapest, Pf. 603. Tel./fax: 239-4932, 239-4933.
E-mail: hambazar@radiovilag.hu www.radiovilag.hu

MX-25 304

3 1/2 digites kijelzés



DC: 1000 V,
20 A
AC: 750 V
20 A
R: 2000 MΩ
C: 200 µF
L: 20 H
f: 10 MHz
T: –40...
+1000 °C

dióda-,
tranzisztor-
teszt,
szakadás-
vizsgálat

mérőzsinór
és hőmérőfej
+250 °C-ig,
műanyag
védőpapucs

csak bruttó
12.990 Ft

LCR-mérők

DM-4070

200 µH ... 20 H,
200 pF ... 2000 µF,
20 ohm ... 20 Mohm

csak bruttó
15.990 Ft

HP-4070L

20 mH ... 20 H,
2 nF ... 200 µF,
20 ohm ... 2000 Mohm

csak bruttó
9.990 Ft

>HoldPeak<
HP-870N

AC-DC univ. lakatfogó műszer

I DC: 0,1–1000 A
I AC: 0,1–1000 A
U DC: ...1000 V
U AC: ...750 V
R: 60 MΩ
C: 99,99 mF
f: 9,99 MHz
T: –20...+100 °C.

4 digit. kijelzés,
dióda- és
szak.vizsgálat;
impulzus-
kitöltés-mérés.,
aut. kikapcs.,
adattartás;
hordtáska
+ mérőzsinór,
+ hőmérőfej

csak bruttó
22.990 Ft

Tartozékok a multiméterekhez:
Tapintóhőmérő (K-típ.) MX-25 104, MX-25 201,
MX-25 303, MX-25 304 és MX-25 501-hez, á.: 1490 Ft.